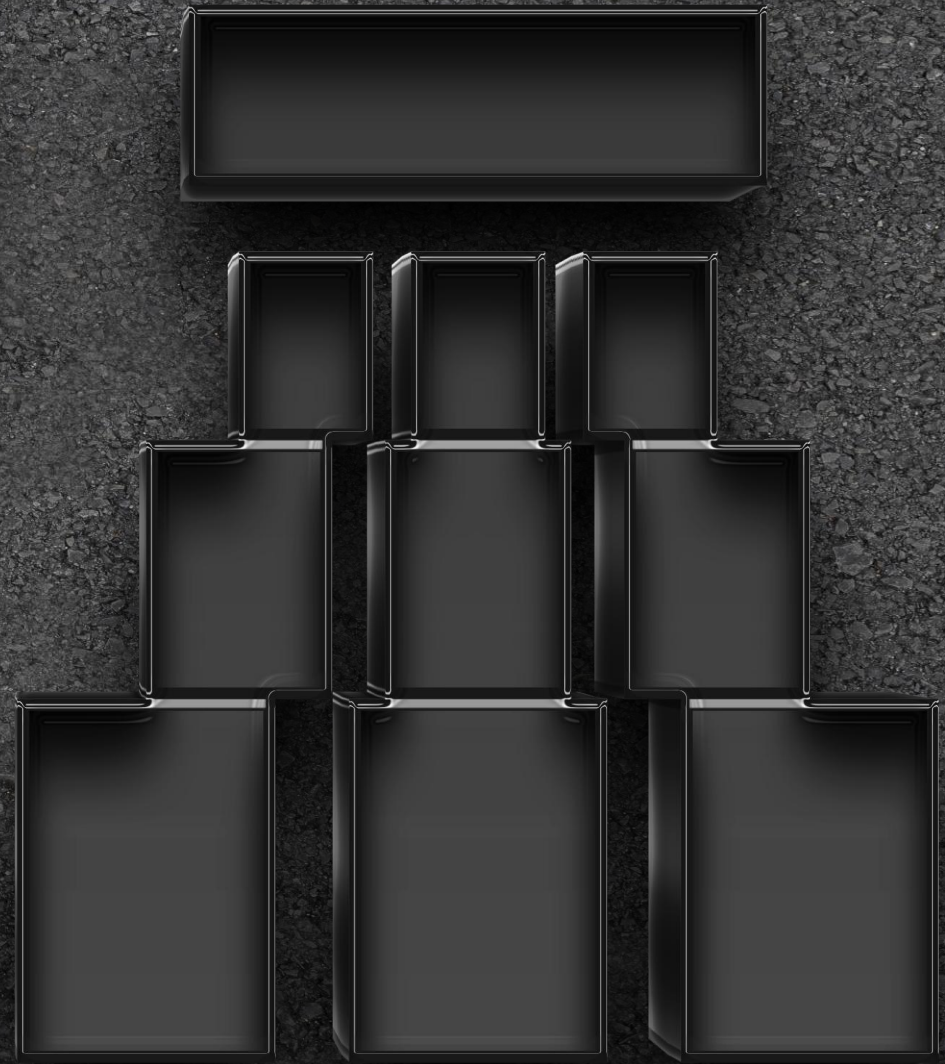
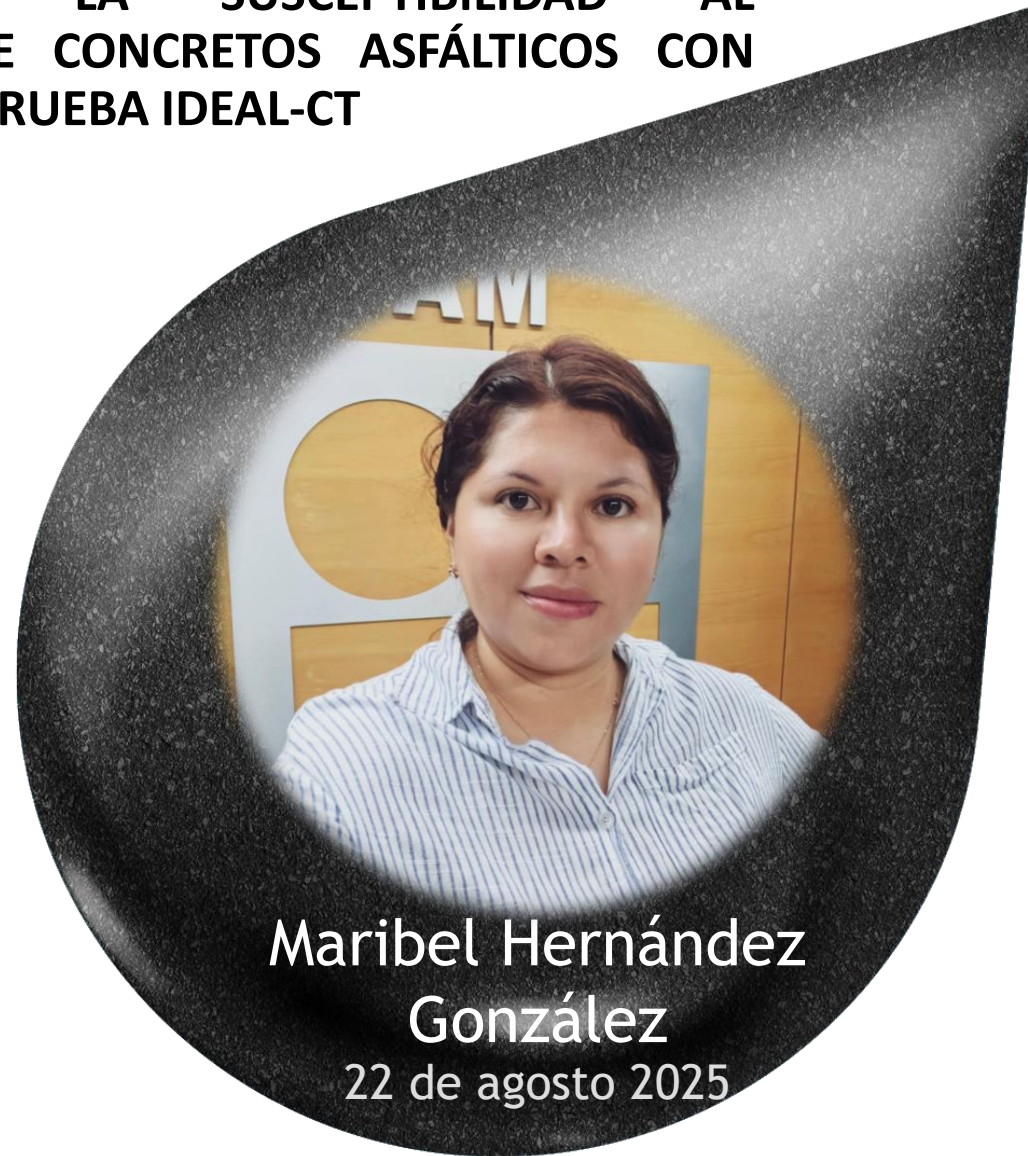




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

# Tema: EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO DE CONCRETOS ASFÁLTICOS CON RCD MEDIANTE LA PRUEBA IDEAL-CT



Maribel Hernández  
González  
22 de agosto 2025

# **EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO DE CONCRETOS ASFÁLTICOS CON RCD MEDIANTE LA PRUEBA IDEAL-CT.**

**Maribel Hernández González**  
**Alexandra Ossa López**



**INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM**

XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A.C.

**@AMAACmx**

**<http://www.amaac.org.mx>**



# CONTENIDOS



01

Introducción



02

Metodología



03

Resultados



04

Conclusiones



# 1. Introducción

*Los **Residuos de Construcción y Demolición (RCD)** son materiales generados por actividades constructivas, como demolición y remodelación. Incluyen suelo, roca, fragmentos de concreto hidráulico (simple o reforzado) y residuos asfálticos.*



## Manejo inadecuado de los Residuos

- Demanda de espacios para la disposición final de los RCD.
- Alteración y destrucción de ecosistemas naturales.
- Sobre explotación de recursos para la extracción de materiales vírgenes.
- Consumo de grandes cantidades de energía e incremento de las emisión de gases de efecto invernadero



## Ventajas de la reutilización y reciclaje

- Preservación de los recursos naturales.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Reducción de la dependencia de las materias primas.
- Ahorro de recursos financieros (Disminuir la energía para extraer, refinar, transportar y procesar materiales vírgenes).



Estados Unidos



75% Reutilización y reciclaje  
25% Vertederos



Unión Europea



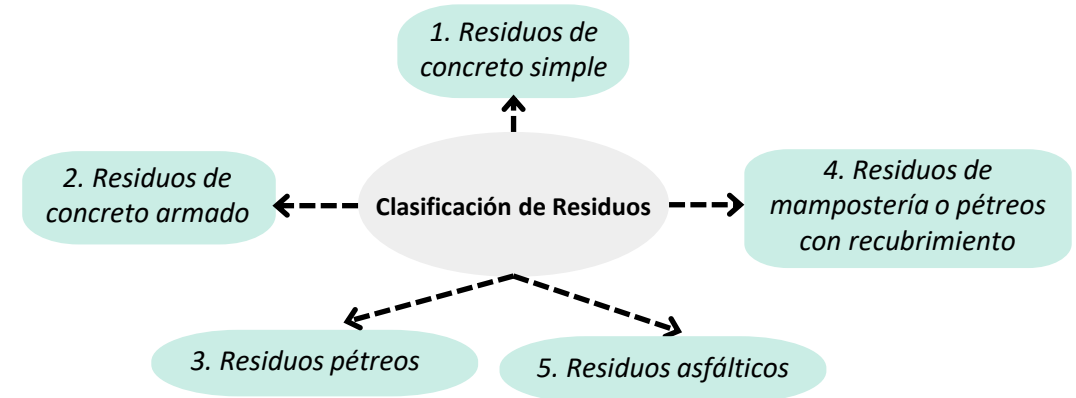
89% Tasa media de reutilización y reciclaje



México



En 2004, la CDMX promulgó la norma NACDMX-007-RNAT.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

@AMAACmx

<http://www.amaac.org.mx>



# 1.1 Incorporación de materiales reciclados en mezclas asfálticas



*La reutilización y el reciclaje de los residuos son claves para una gestión sostenible y transitar a un modelo de economía circular.*

## Residuos utilizados en la elaboración de concreto asfáltico



RAP (Reclaimed Asphalt Pavement). Residuos asfálticos que fueron removidos y reprocesados para ser incorporados.



RCD. Residuos de construcción, principalmente concreto hidráulico (simple o armado) y mortero triturados.



Polvo de caucho elaborado a partir de neumáticos reciclados.



Materiales elaborados a partir de residuos plasticos



## Investigación Orientada a:

- Evaluar la compatibilidad físico – química entre los agregados reciclados y ligantes asfálticos.
- Determinar el desempeño mecánico de las mezclas tanto a corto como a largo plazo.
- Analizar las implicaciones ambientales del uso de materiales reciclados en capas estructurales de pavimento.
- Establecer criterios de diseño, control de calidad y durabilidad de los concretos asfálticos modificados con RCD.

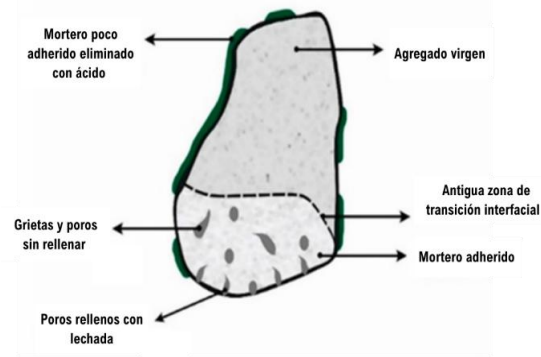


# 1.2 Uso de los agregados procedentes de RCD en la elaboración de concreto asfáltico.



*La incorporación de RCD en pavimentos asfálticos es una estrategia viable y sostenible para reducir grandes volúmenes de residuos, sustituyendo agregados vírgenes por agregados provenientes de concreto reciclado.*

Para su aprovechamiento los residuos de concreto, tanto simple como armado, después del proceso de separación; se trituran para obtener agregados de diferentes tamaños, lo que facilita su uso.



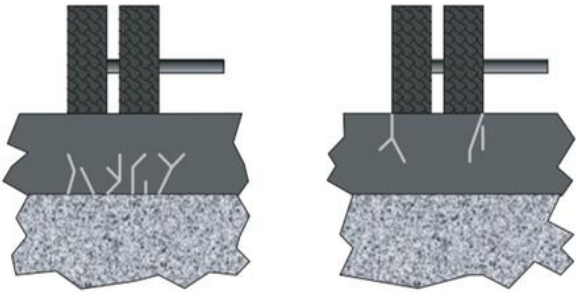
El reciclaje de estos residuos produce agregados con dos fases: el natural original y una capa de mortero adherido, lo que altera sus propiedades físicas y mecánicas frente a un agregado virgen.



- Las diferencias en las propiedades de los agregados vírgenes y reciclados afectan el comportamiento del concreto asfáltico, exigiendo ajustes en el diseño de mezcla para garantizar su desempeño estructural.
- El mortero adherido en los agregados reciclados puede mejorar la calidad del material, ya que sus componentes cementantes activos pueden contribuir a aumentar su resistencia y rigidez.
- Es crucial que los concretos asfálticos con materiales reciclados ofrezcan un rendimiento comparable a los de agregados vírgenes, garantizando resistencia, estabilidad, durabilidad a largo plazo.



# 1.3 Susceptibilidad al agrietamiento



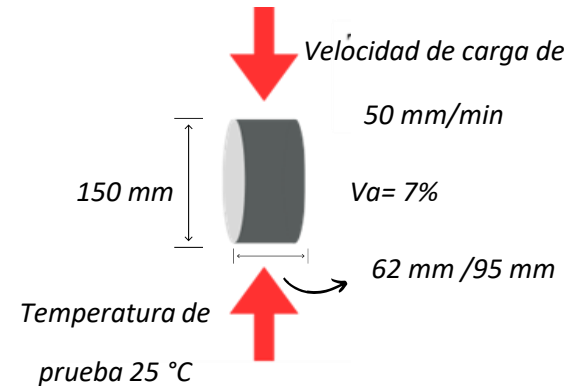
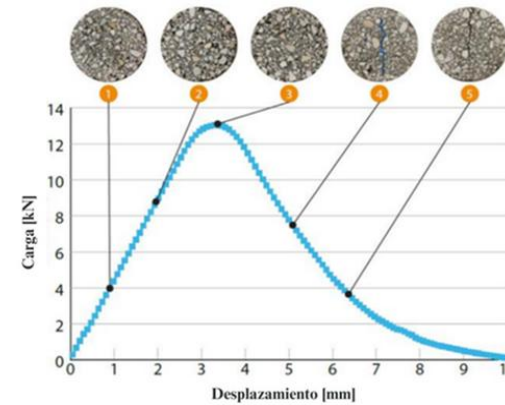
Estas tensiones, acumuladas a lo largo del tiempo, generan fisuras que inician en la base del concreto asfáltico y progresan hacia la superficie, dando lugar a un patrón reticulado característico.

Este tipo de daño se genera por la aplicación continua de cargas vehiculares que inducen esfuerzos repetitivos principalmente en la parte inferior de la capa asfáltica.



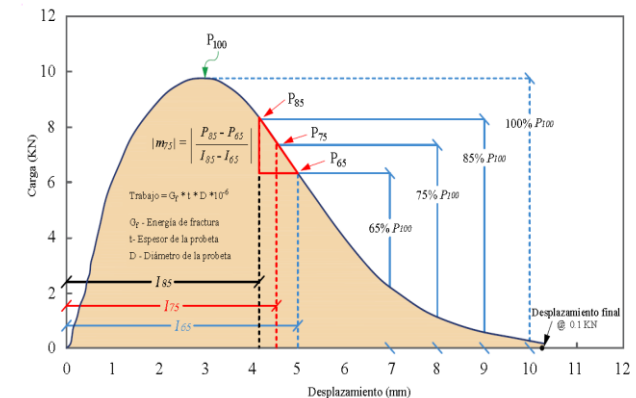
Las fisuras superficiales evolucionan con el tiempo hacia deformaciones que alteran la regularidad superficial, reducen la adherencia entre el neumático y el pavimento. En fases avanzadas, estas fisuras pueden convertirse en baches, elevando considerablemente el riesgo de accidentes y daños a los vehículos.

## Prueba de Agrietamiento Ideal (IDEAL-CT)



$$G_f = \frac{W_f}{D \times t} * 10^6$$

El ensayo IDEAL-CT evalúa la resistencia al agrietamiento de mezclas asfálticas mediante el Índice de Tolerancia al Agrietamiento (CT index), un parámetro basado en la mecánica de fractura.



$$CT_{index} = \frac{t}{62} * \frac{l_{75}}{D} * \frac{G_f}{|m_{75}|} * 10^6$$

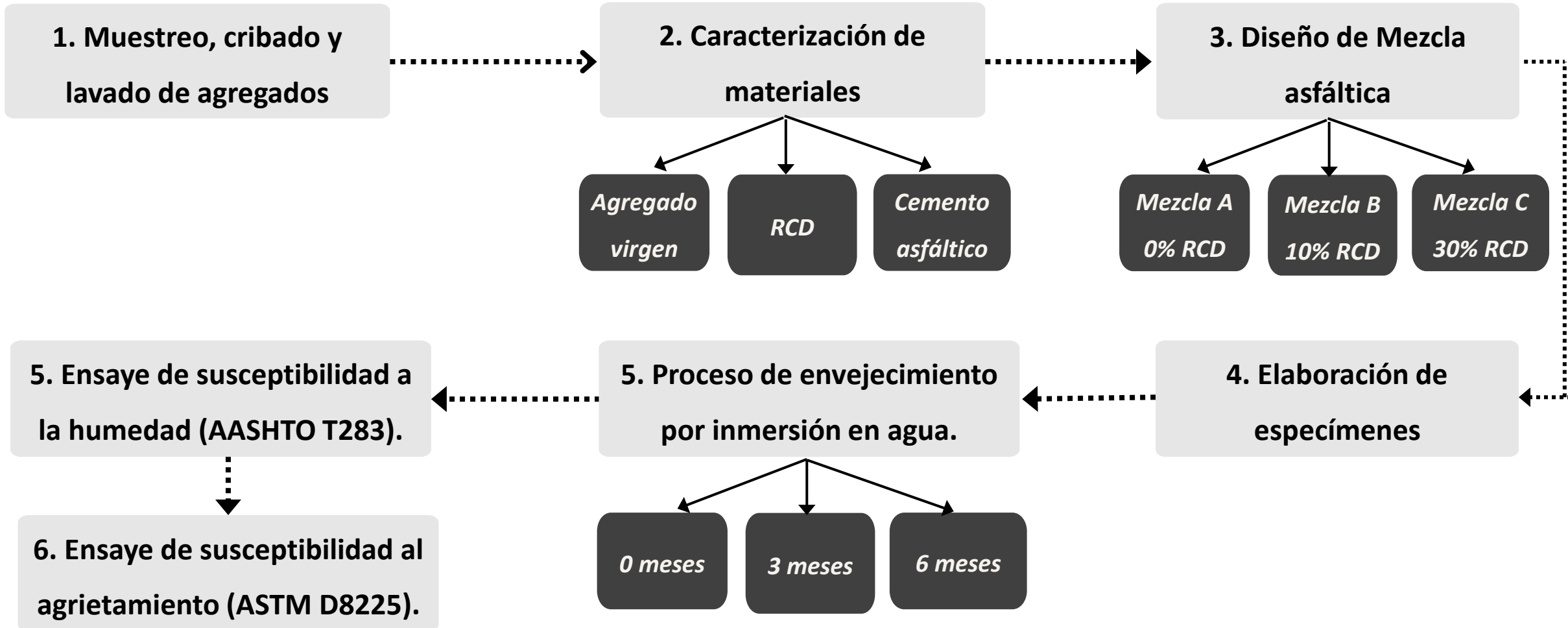


# 1.5 Objetivo

- Evaluar la susceptibilidad al agrietamiento de concretos asfálticos elaborados con la incorporación agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) en proporciones del 10 % y 30 %, distribuidos en todas las fracciones de la curva granulométrica. Para ello, se aplicó un protocolo de envejecimiento acelerado por inmersión en agua a temperatura ambiente, durante periodos de 3 y 6 meses, con el fin de analizar el comportamiento mecánico de los especímenes bajo condiciones críticas de humedad, enfocándose en su resistencia a la propagación de grietas.



# 3. Metodología



# 3.1 Materiales

**Agregado virgen**  
*Basalto vesicular*



**Agregado Procedente de RCD**  
*Fragmentos de concreto  
hidráulico triturado*



**Cemento asfáltico**  
*PG 64-22*



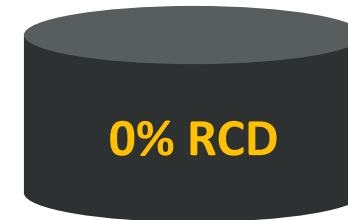
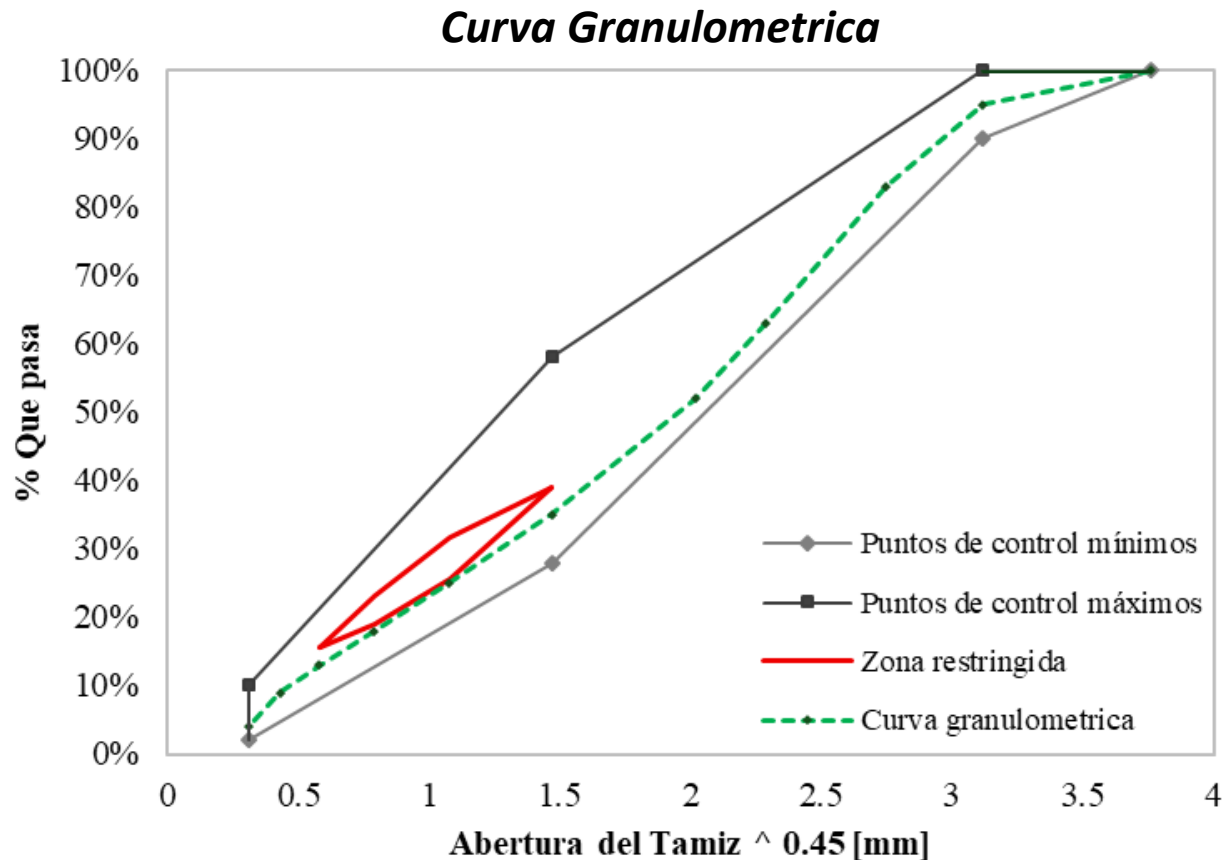
| Propiedad                              | Método de ensayo | Agregado grueso | Agregado fino |
|----------------------------------------|------------------|-----------------|---------------|
| Gravedad específica                    | ASTM C127 / C128 | 2.583           | 2.404         |
| Absorción (%)                          | AASHTO T85 / T84 | 2.09            | 5.00          |
| Contenido de vacíos no compactados (%) | ASTM C1252       | —               | 40.5          |
| Equivalente de arena (%)               | ASTM D2419       | —               | 72.70         |
| Partículas fracturadas (%)             | ASTM D5821       | 75              | —             |
| Partículas alargadas y lajeadas (%)    | ASTM D4791       | 14              | —             |
| Desgaste Los Ángeles (%)               | ASTM C131        | 19.57           | —             |
| Intemperismo acelerado (% pérdida)     | ASTM C88         | 6.10            | —             |

| Propiedad                              | Método de ensayo | Agregado grueso | Agregado fino |
|----------------------------------------|------------------|-----------------|---------------|
| Gravedad específica                    | ASTM C127 / C128 | 2.045           | 2.162         |
| Absorción (%)                          | AASHTO T85 / T84 | 9.79            | 9.00          |
| Contenido de vacíos no compactados (%) | ASTM C1252       | —               | 49.9          |
| Equivalente de arena (%)               | ASTM D2419       | —               | 0.552         |
| Partículas fracturadas (%)             | ASTM D5821       | 61              | —             |
| Partículas alargadas y lajeadas (%)    | ASTM D4791       | 7               | —             |
| Desgaste Los Ángeles (%)               | ASTM C131        | 29.76           | —             |

| Propiedad                                        | Método de ensayo | Valor    |
|--------------------------------------------------|------------------|----------|
| Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s (0.1 mm)         | ASTM D5          | 68       |
| Punto de inflamación Cleveland (°C)              | ASTM D92         | 280      |
| Punto de reblandecimiento (°C)                   | ASTM D36         | 55       |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C (s)            | ASTM D4402       | 120      |
| Viscosidad rotacional Brookfield a 135 °C (Pa·s) | AASHTO T316      | 0.346    |
| Grado de desempeño (PG)                          | AASHTO M320      | PG 64-22 |

# 3.1. Diseño de mezcla

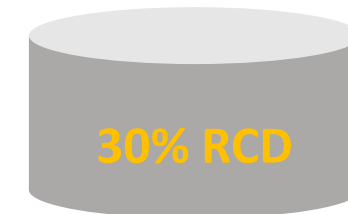
El diseño se llevó a cabo utilizando la metodología SUPERPAVE para un nivel de tránsito de  $3 \times 10^5 <$   
ESAL's  $< 3 \times 10^6$ . Tras cumplir con los requisitos establecidos por esta metodología, se obtuvo:



Cemento asfáltico  
óptimo=6%  
Gmm=2.426



Cemento asfáltico  
óptimo=6%  
Gmm=2.352



Cemento asfáltico  
óptimo=7%  
Gmm=2.305



# 3.3. Envejecimiento de especímenes

Los especímenes se sometieron a un proceso de envejecimiento mediante inmersión en agua a una temperatura constante de 25°C durante distintos períodos.

\* Especímenes que se sometieron al protocolo de acondicionamiento conforme a **AASHTO T283**.



Especímenes sin envejecer

Subgrupo 1A:  
Especímenes  
acondicionados\*.

Subgrupo 1NA:  
Especímenes no  
acondicionados.



Especímenes envejecidos  
durante 3 meses

Subgrupo 2A:  
Especímenes  
acondicionados\*.

Subgrupo 2NA:  
Especímenes no  
acondicionados.



Especímenes envejecidos  
durante 6 meses

Subgrupo 3A:  
Especímenes  
acondicionados\*.

Subgrupo 3NA:  
Especímenes no  
acondicionados.



## 3.4. Ensayo de especímenes

*Después del proceso de envejecimiento, realizado según lo correspondiente a cada espécimen:*

Aplicación del protocolo de acondicionamiento conforme a **AASHTO T283**.



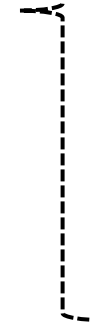
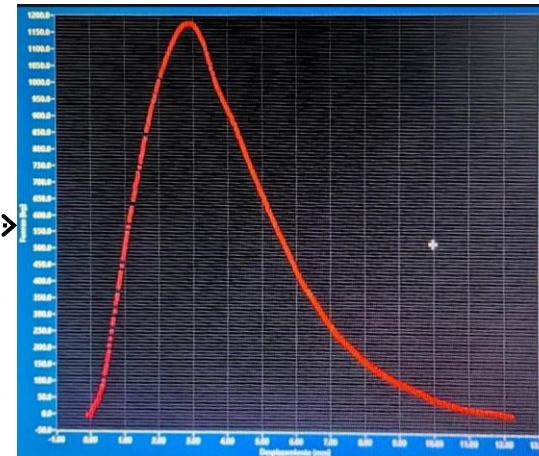
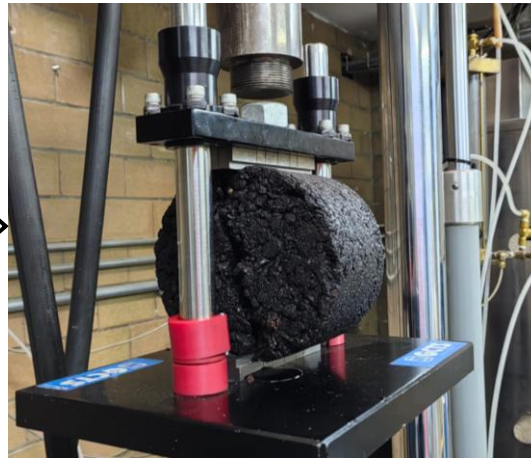
Ejecución del ensayo de resistencia a la tensión indirecta.



Registro de valores de carga y desplazamiento.



Cálculo de parámetros de acuerdo con **ASTM D8225**.



Energía de Fractura  
**G<sub>f</sub>**

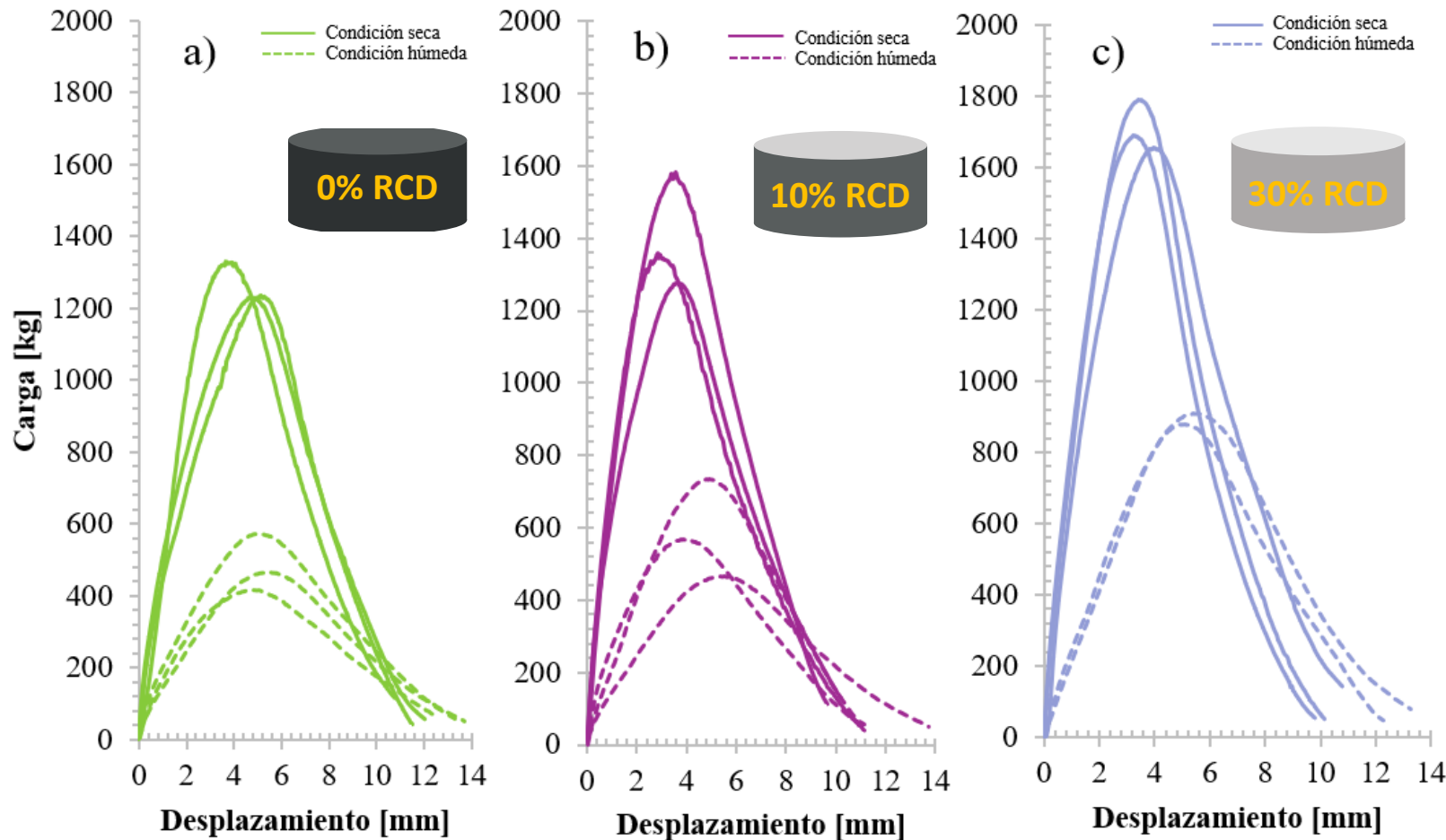
Índice de Tolerancia al  
agrietamiento  
**CT-index**

Parámetro de  
Ductilidad  
**I<sub>75%</sub>/m<sub>75%</sub>**



# 4. Resultados

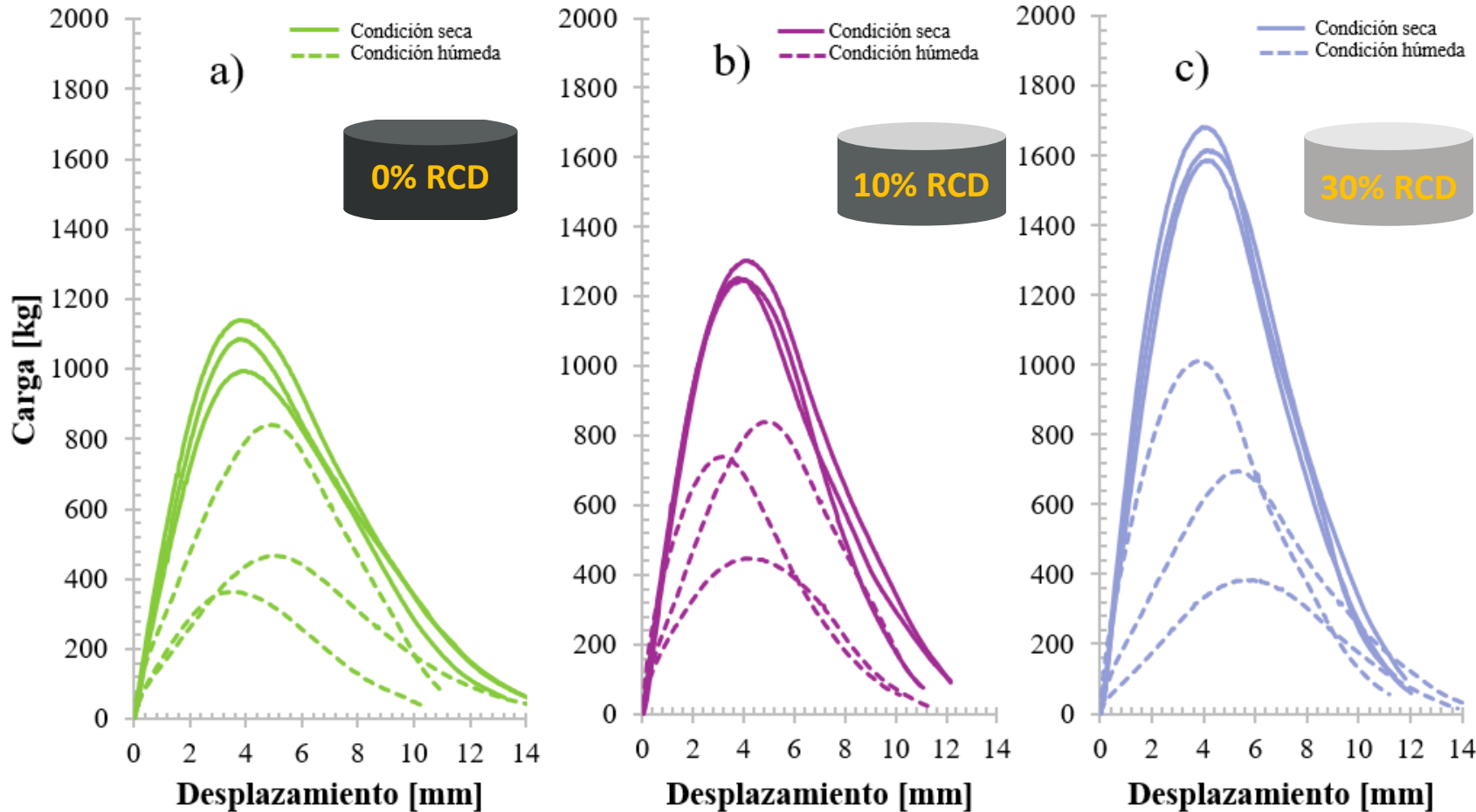
## Curvas carga-desplazamiento especímenes sin envejecimiento



- Los especímenes con 30 % de RCD se alcanzaron una mayor carga máxima en condiciones secas y húmedas.
- La humedad redujo la capacidad de carga pero aumentó la ductilidad, mientras que en condiciones secas se obtuvo mayor resistencia pero con respuesta más frágil.

# 4. Resultados

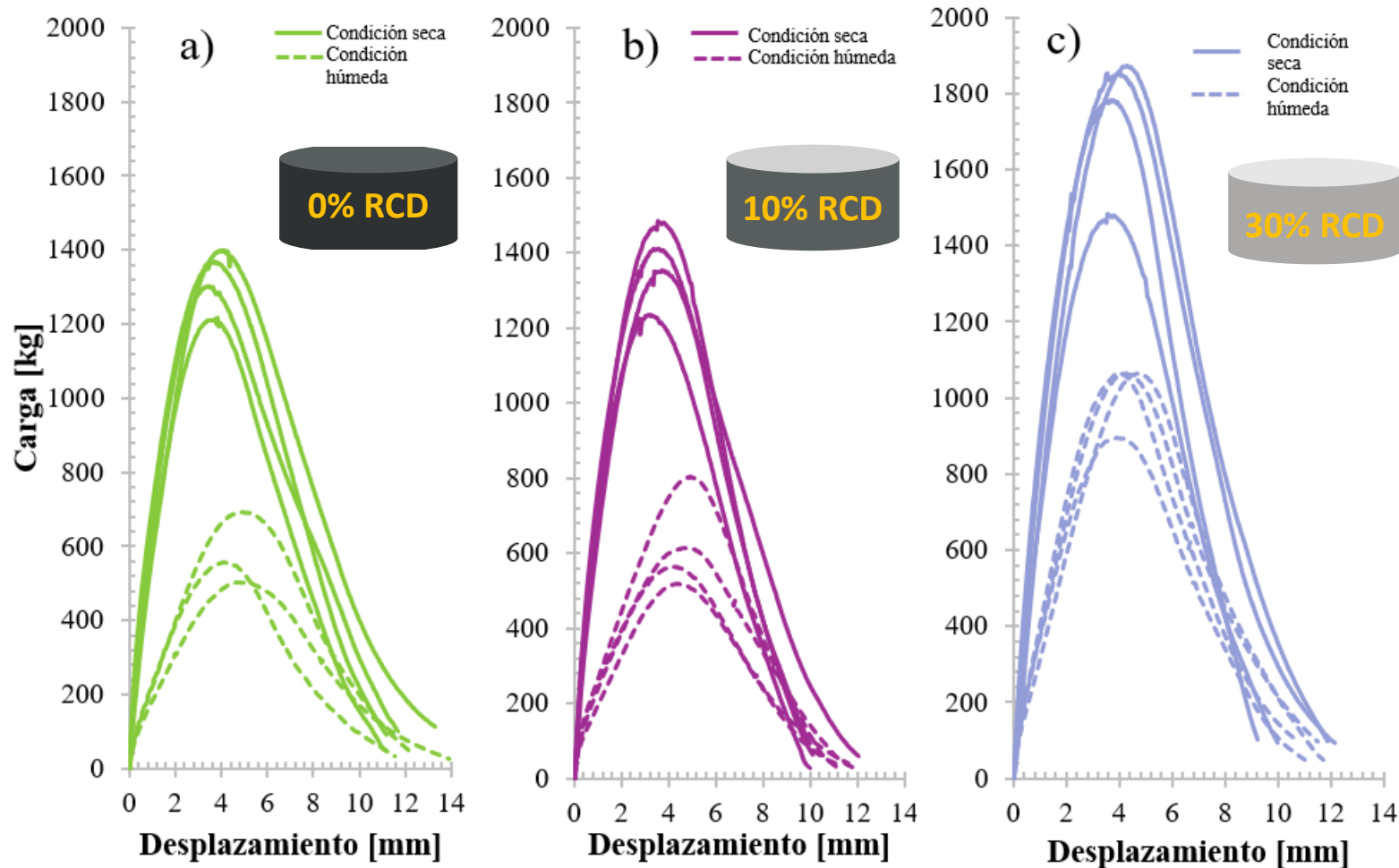
## Curvas carga-desplazamiento especímenes con 3 meses de envejecimiento



- Aunque los concretos con contenido de RCD continuaron mostrando mayor carga máxima en comparación con el concreto de control, se identificó una disminución generalizada en la capacidad de carga respecto a los especímenes no envejecidos.
- Este descenso se atribuye a la degradación progresiva de la matriz asfáltica y a la pérdida de adherencia entre el cemento asfáltico y los agregados debido a la absorción prolongada de humedad.

# 4. Resultados

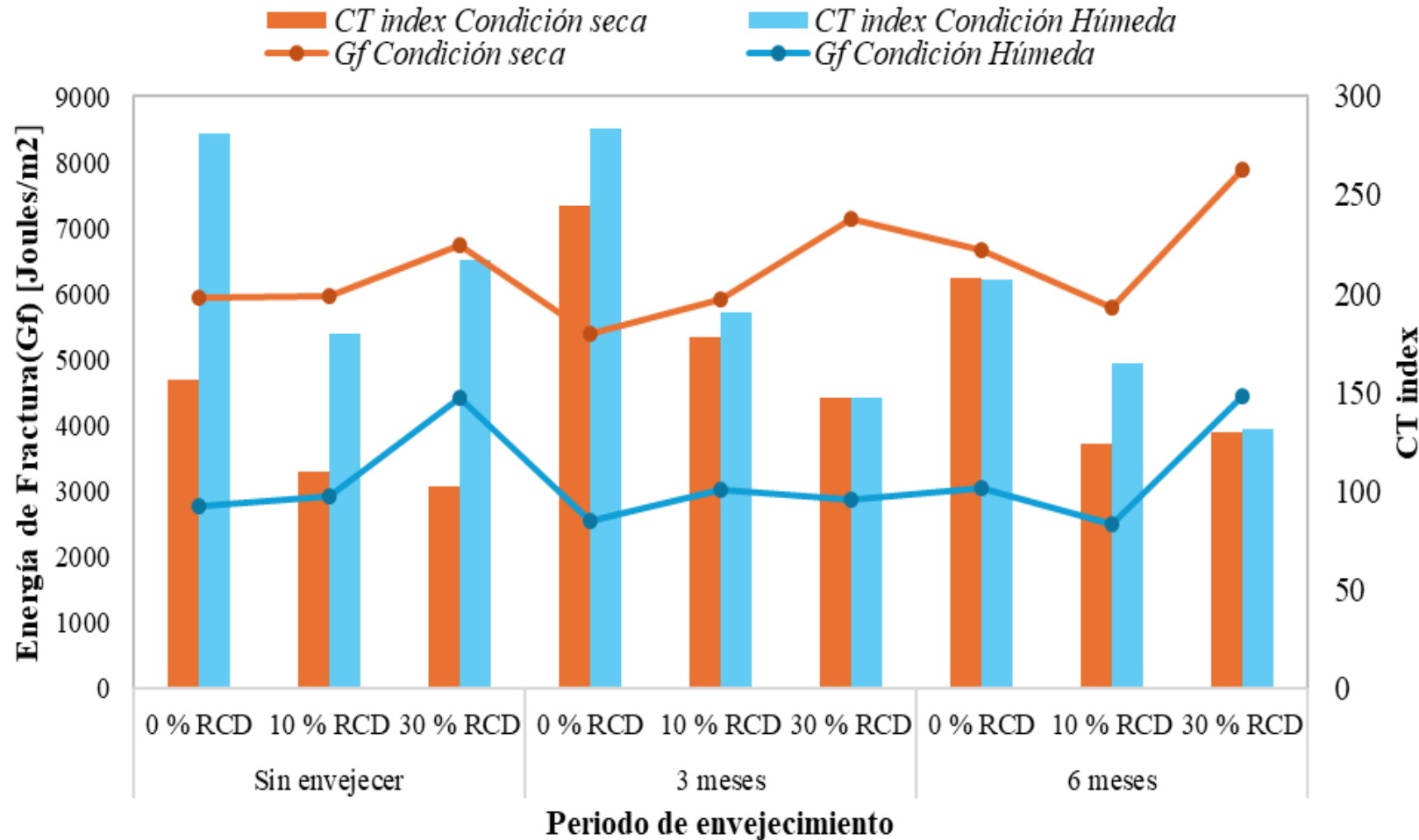
## Curvas carga-desplazamiento especímenes con 6 meses de envejecimiento



- Los especímenes con 30 % de RCD presentaron mayor carga máxima,
- Todas las mezclas mostraron un comportamiento mas frágil y menor deformación.
- La pérdida de ductilidad observada sugiere una posible microfisuración interna acumulada durante el proceso de envejecimiento.

# 4. Resultados

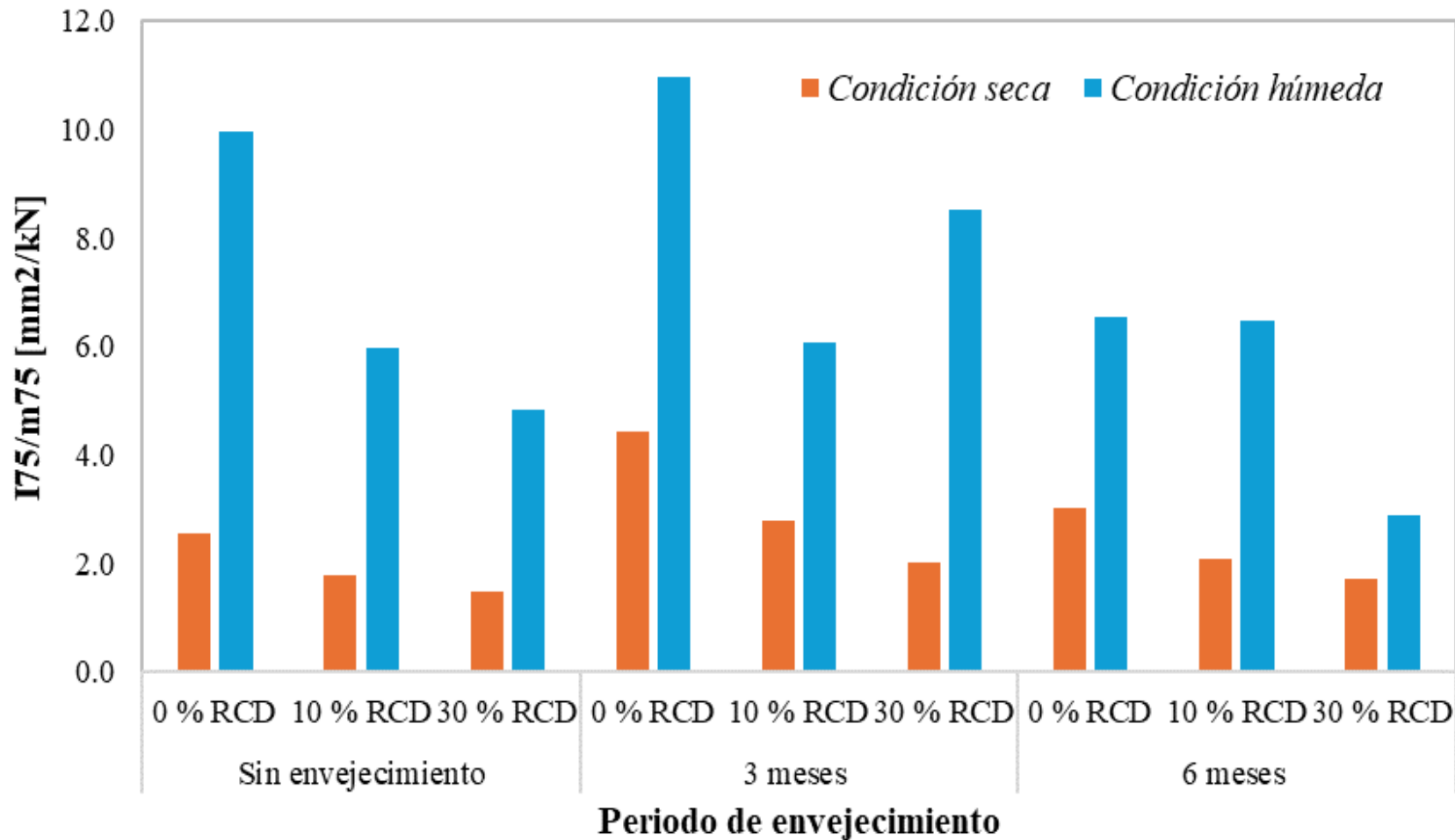
## CT- index y Energía de Fractura



- Los especímenes en condición seca mostraron mayores valores de energía de fractura, pendiente post-pico y carga máxima que los húmedos, debido a que la humedad reduce la cohesión y capacidad de absorción de energía de los concretos asfálticos.
- Sin embargo, los húmedos presentaron mayor ductilidad y capacidad para disipar deformación antes del colapso.
- Los concretos con 30 % de RCD alcanzaron las cargas máximas y energías de fractura más altas, indicando un refuerzo mecánico por la estructura del agregado reciclado.

## 4. Resultados

● **Parámetro  $I_{75\%}/m_{75\%}$**



- Al aumentar el porcentaje de RCD, se identificó una tendencia a la disminución del parámetro  $I_{75\%}/m_{75\%}$ , especialmente en los especímenes evaluados en condición seca.
- Tras la exposición prolongada a la humedad, se observó además una reducción significativa tanto del CT index como de  $I_{75\%}/m_{75\%}$  en las mezclas con RCD, llegando incluso a valores similares a los obtenidos en estado seco.
- Este comportamiento refleja una pérdida de tolerancia al agrietamiento bajo condiciones de humedad prolongadas, lo cual debe ser considerado en aplicaciones estructurales en climas húmedos o con drenaje deficiente.

# 5. Conclusiones

## ● Propiedades de absorción de los RCD

Durante la caracterización de materiales, se verificó que los agregados reciclados presentan valores de absorción significativamente mayores que los agregados pétreos vírgenes. Esta propiedad impactó directamente en el diseño volumétrico, incrementando el contenido óptimo de cemento asfáltico en asfáltico en aproximadamente un 1 % en las mezclas con 30 % de RCD.

## ● Desempeño en resistencia a la tensión indirecta

Los concretos asfálticos que incorporaron RCD mostraron mejoras resultados en carga máxima y energía de fractura, especialmente aquellos con 30 % de RCD. Esta tendencia se mantuvo constante independientemente del tiempo de envejecimiento, lo que sugiere que el uso de RCD refuerza la capacidad de carga del material sin comprometer su integridad mecánica inicial.

## ● Efecto del envejecimiento

Se observó que el tiempo de inmersión contribuyó a un incremento en la resistencia mecánica, atribuible a la posible reactivación de compuestos cementantes presentes en la fracción fina del RCD. Esta hidratación secundaria parece mejorar la cohesión interna del concreto asfáltico, generando mezclas con mejor desempeño mecánico que aquellas elaboradas exclusivamente con agregados vírgenes.

# 5. Conclusiones

## ● Influencia del acondicionamiento

Las condiciones de ensayo mostraron efectos contrastantes. Los especímenes ensayados en condiciones húmedas presentaron mayores valores del parámetro  $I_{75\%}/m_{75\%}$ , lo cual indica un comportamiento más dúctil en comparación con los especímenes secos, que evidenciaron una respuesta más frágil. Esta diferencia se manifestó claramente en las curvas carga-desplazamiento.

## ● Limitaciones del CT-Index en mezclas envejecidas con RCD

A pesar de sus ventajas mecánicas, las mezclas con 30 % de RCD envejecidas durante 6 meses presentaron los valores más bajos de CT-Index, lo que indica una mayor susceptibilidad al agrietamiento bajo condiciones prolongadas de humedad. Este resultado sugiere que el uso de altos contenidos de RCD puede comprometer la tenacidad a largo plazo del concreto asfáltico.

*En conjunto, estos hallazgos resaltan la importancia de evaluar cuidadosamente la proporción de RCD empleada y las condiciones ambientales del sitio de aplicación, con el fin de garantizar la durabilidad estructural del pavimento y mitigar el riesgo de fisuración prematura en escenarios de alta humedad o baja capacidad de drenaje.*

*¡muchas gracias!*

**Ponente:** Maribel Hernández González

Alexandra Ossa López

**Contacto:** MHernandezGon@iingen.unam.mx

AOssaL@iingen.unam.mx



**INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM®**