



ALCONPAT ARGENTINA
ASOCIACION LATINOAMERICANA DE
CONTROL DE CALIDAD PATOLOGIA
Y RECUPERACION DE LA
CONSTRUCCION

POST CONGRESO CONPAT 2017

Avances en la caracterización del hormigón mediante el procesamiento digital de imágenes

M. Positieri, A. Oshiro, C. Baronetto, A. Segura, H. Begliardo, J. Fornari



UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL
F.R. Córdoba – F.R. Rafaela

Técnicas tradicionales para evaluación de hormigones

- **Probetas** (Resistencia potencial)
- **Testigos** (Resistencia efectiva)



Residuos

Técnicas basadas en toma de imágenes/sistemas de visión



Basyigit et al.(2012). *Assessment of concrete compressive strength by image processing technique.*

Chen et al.(2013). *Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar.*

Ozturk A., Baradan B., (2008). *A comparison study of porosity and compressive strength mathematical models with image analysis.*

Śluzarek J., (2010). *The correlation of structure porosity and compressive strength of hardening cement materials.*

Zhao et al.(2014). *Influence of Pore Structure on Compressive Strength of Cement Mortar.*

Zhou et al. (2015). *A relationship of mesoscopic pore structure and concrete bending strength*

Zingg et al.(2016).*Influence of cement matrix porosity on the triaxial behaviour of concrete.*

Universidad Tecnológica Nacional

Programa: Estructuras y Construcciones Civiles

- **PID Tutorado:**

**«Desarrollo de un modelo clasificador de hormigones
mediante el procesamiento digital de imágenes»**



Tecnología del hormigón



Procesamiento de imágenes

Universidad Tecnológica Nacional

Programa: Estructuras y Construcciones Civiles

- **PID Tutorado:**

**«Desarrollo de un modelo clasificador de hormigones
mediante el procesamiento digital de imágenes»**

- **Objetivo:**

*Desarrollar de un modelo clasificador de **hormigones convencionales**
basado en la **captura de imágenes** y su **procesamiento digital**.*

El problema:

*¿Cómo lograr un **modelo clasificador** de la calidad de **hormigones convencionales** a partir de la captura de imágenes?*

La propuesta de solución:

Aplicación de técnicas de **ingeniería computacional** (*RNA -redes neuronales artificiales-*), haciendo uso de los datos aportados por software específicos.

- Para el *procesamiento digital de las imágenes* (DIP) se utilizó el software de código abierto *ImageJ* (<https://imagej.net/ImageJ>)



MATERIALES y MÉTODOS

Familia de hormigones con 6 (seis) relaciones agua cemento.
Se presentan resultados de 3 (tres).

a/c	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
-----	------	------	------	------	------	------

Materiales

- **Cemento:** fillerizado categorizado CPF 40, densidad 3,15.
- **Agregado Grueso:** piedra partida, T máx. 19 mm, densidad de 2,68, absorción 0,77%.
- **Agregado Fino:** arena natural mezcla, densidad de 2.68, absorción 0,95%.

Dosificaciones

Materiales para 1 m ³	Unidad	Hormigones		
		T-193	T-204	T-213
Agua	kg	190	190	190
Cemento	kg	422	345	292
Agregado Fino (arena fina)	kg	192	210	222
Agregado Fino (arena gruesa)	kg	608	667	708
Agregado Grueso	kg	968	968	968
a/c	--	0,45	0,55	0,65

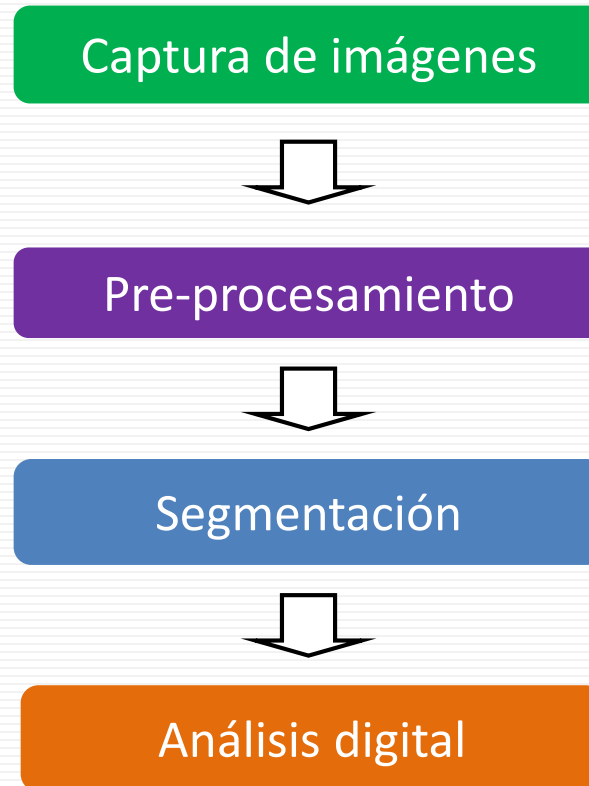
Determinaciones de Laboratorio

- Absorción de agua
- Porosidad
- Resistencia a compresión
- Módulo de elasticidad
- Velocidad de ultrasonido
- Índice esclerométrico

Preparación de las muestras → **procesamiento digital**

1. Se cortaron rodajas de probetas 15 cm de diámetro por 30 cm de altura con espesor de 5 cm.
2. Corte realizado en dirección perpendicular al sentido de llenado de la probeta.
3. Se obtuvieron 3 rodajas de cada probeta (6 superficies de lectura).

Procesamiento de imágenes: secuencia de trabajo



Captura de imágenes

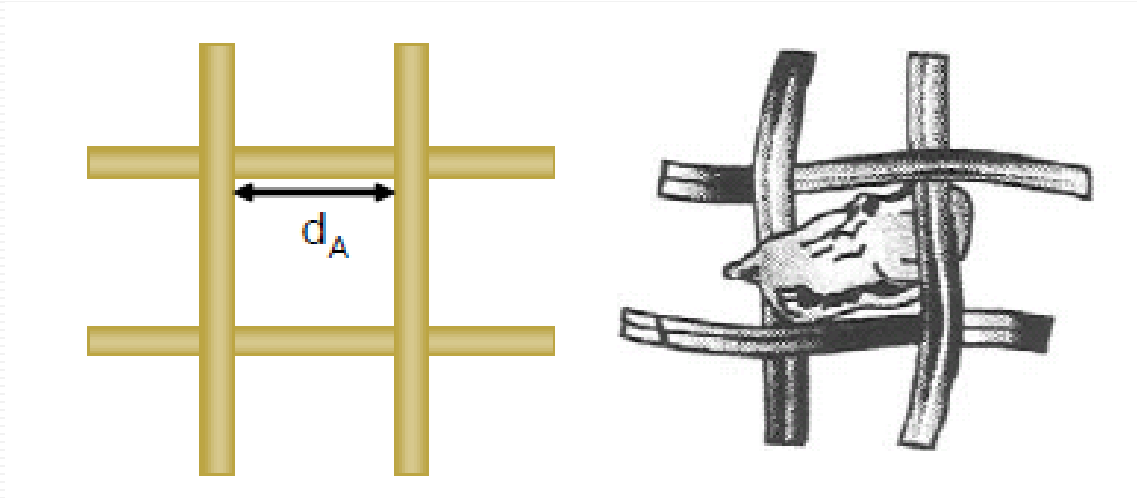
- **Superficies:** rectificadas y pulidas
- **Cámara:** réflex digital de 24,2 megapíxeles de resolución
- **Formato:** crudo (RAW) → Edición, filtrado y conversión a JPG para procesarlas.
- **Iluminación:** natural, buena.



Identificación digital de **agregado grueso**

- **Agregado grueso** > tamiz ASTM #4 (IRAM 4,76mm)

El programa toma como “agregado grueso” a toda superficie proyectada de los agregados de área mayor o igual a **17,80 (≈ 18) mm²**



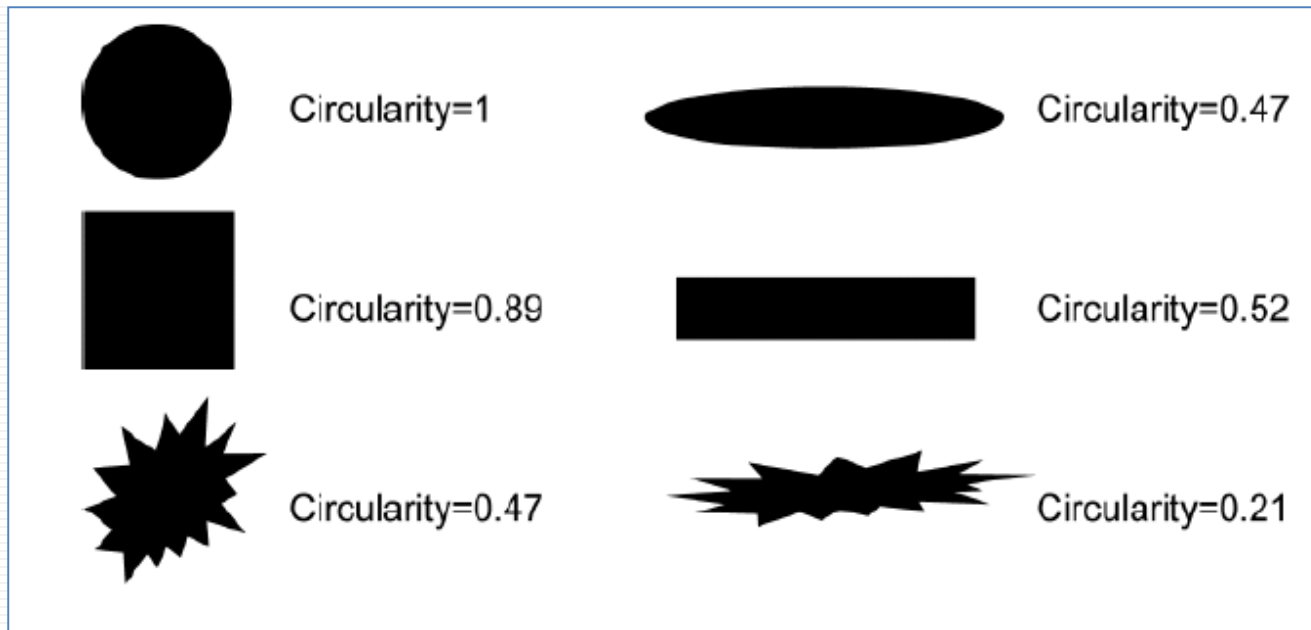
Identificación digital de **agregado grueso**

■ **Circularidad (C)**

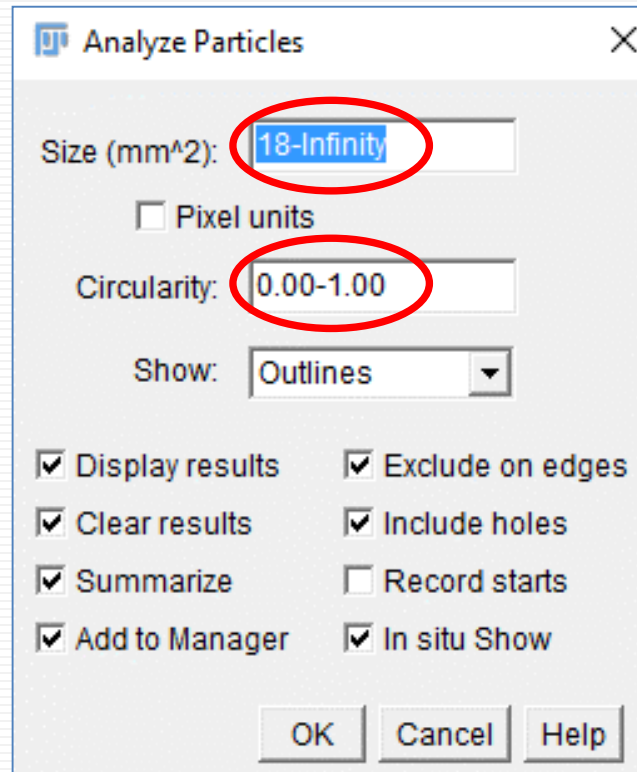
No se ha puesto límite a la circularidad de los agregados

$$C = \frac{4\pi A}{P^2}$$

A= área proyectada de la partícula.
P= perímetro de la partícula.

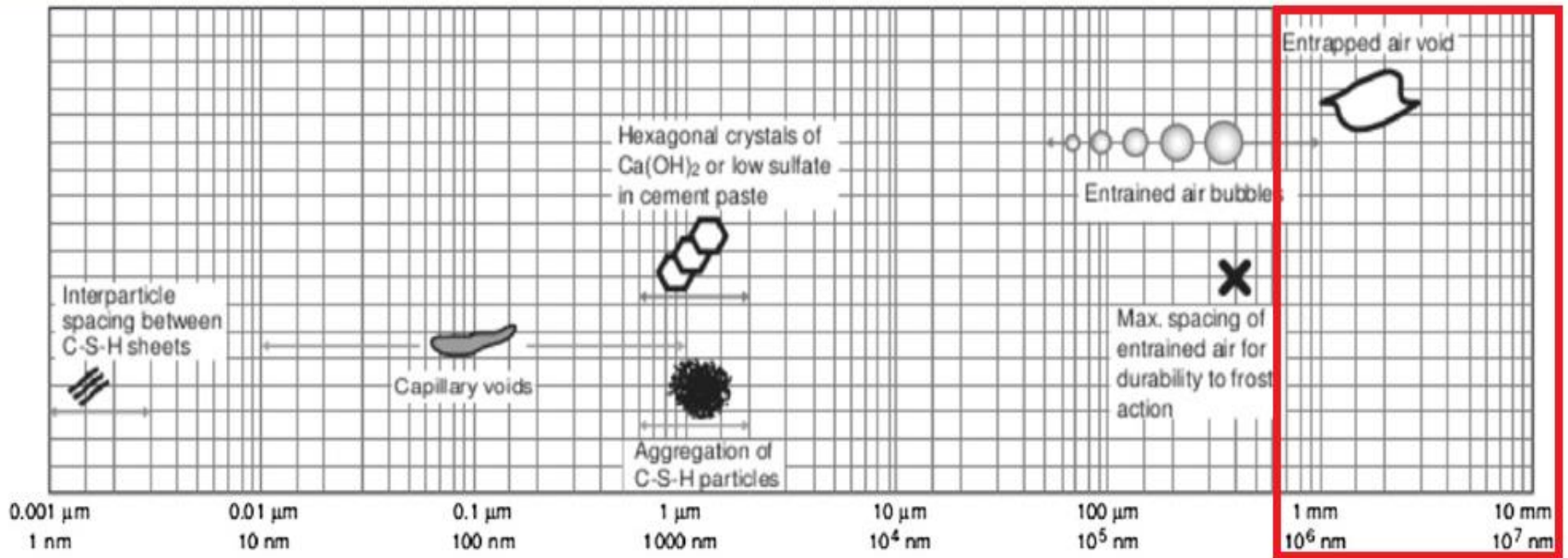


Identificación digital de **agregado grueso**



$$A = 18 \text{ mm}^2 \rightarrow D \approx 4,76 \text{ mm}$$

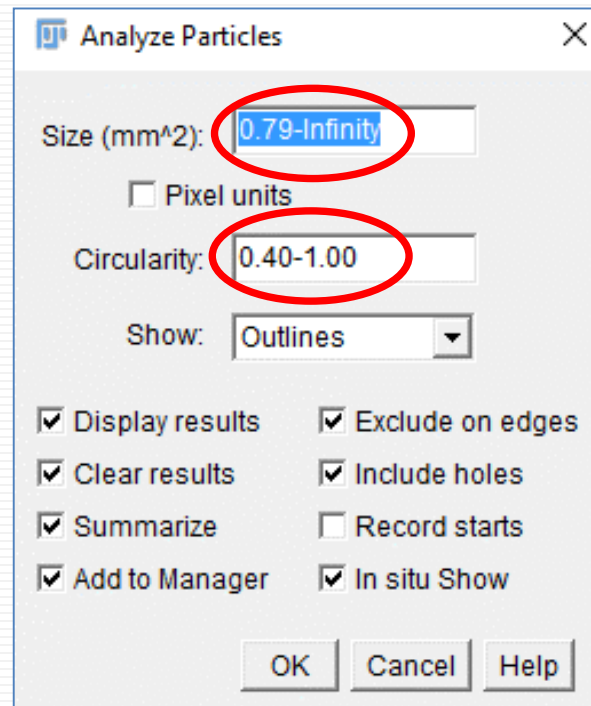
Identificación digital de los vacíos



Distribución del tamaño de poros

Identificación digital de los **vacíos**

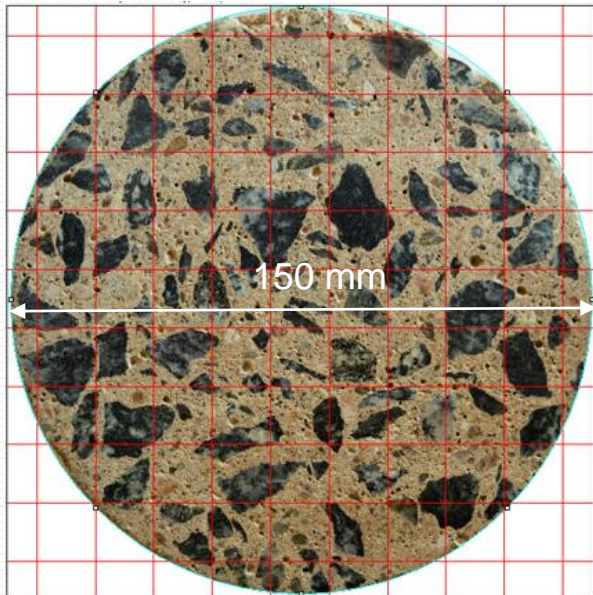
Selección del rango de **tamaños y circularidad de vacíos** en el hormigón



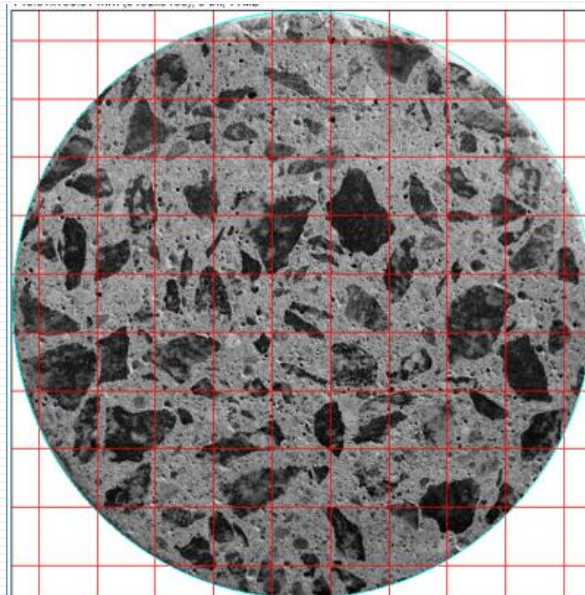
$$A = 0,79 \text{ mm}^2 \rightarrow D = 1 \text{ mm}$$

Segmentación

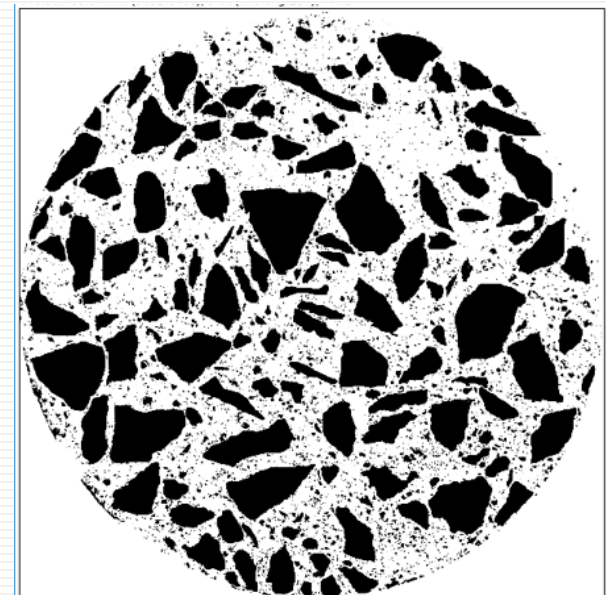
1. Selección y recorte de la imagen.
2. Establecimiento de la escala, diámetro nominal de 150 mm.
3. Conversión a escala de grises de 8 bits.
4. Binarización y retoques.



Original



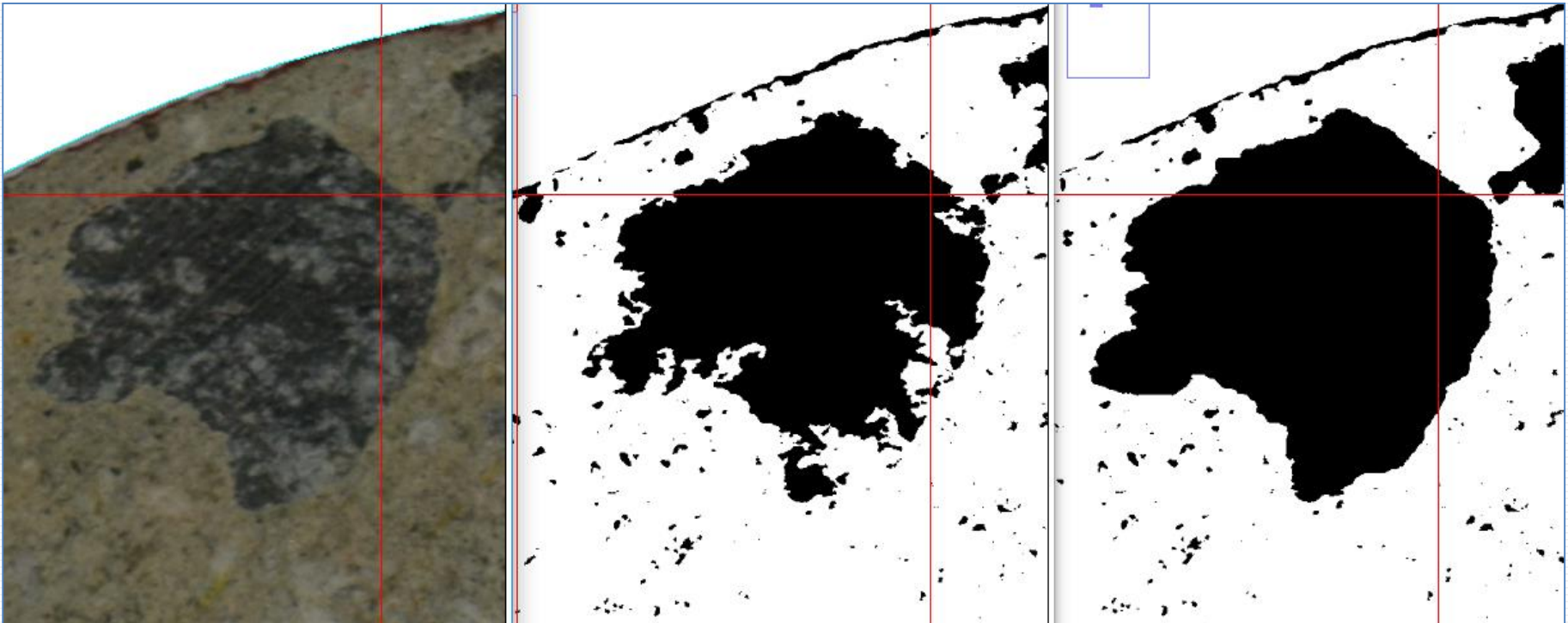
Escala de grises



Binarizada (final)

Segmentación

Pre-proceso



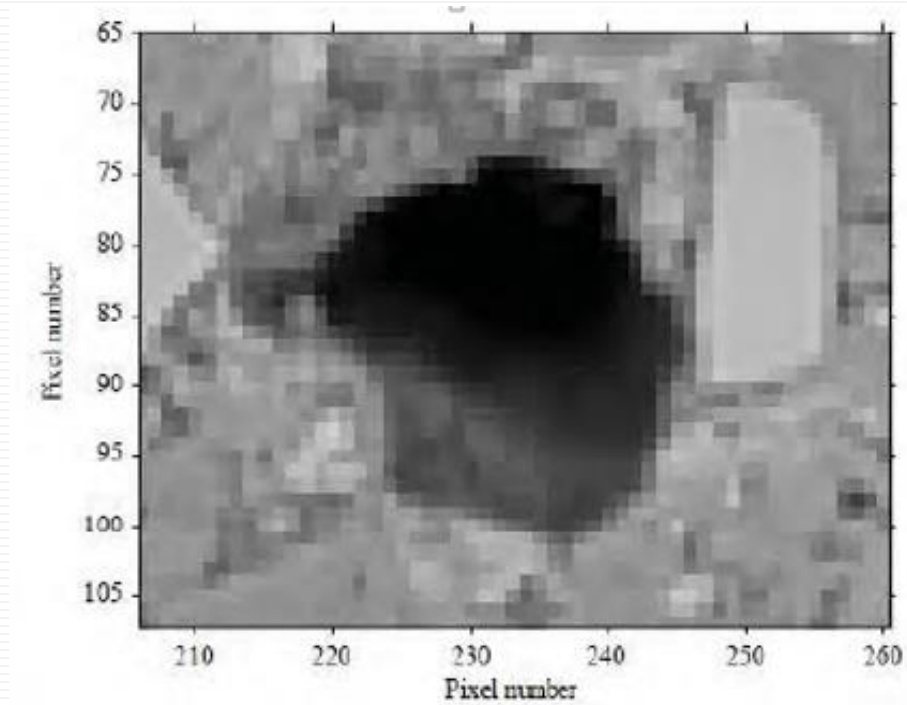
Original de una partícula de agregado grueso

Binarizada inicial

Binarizada final (retocada)

Segmentación

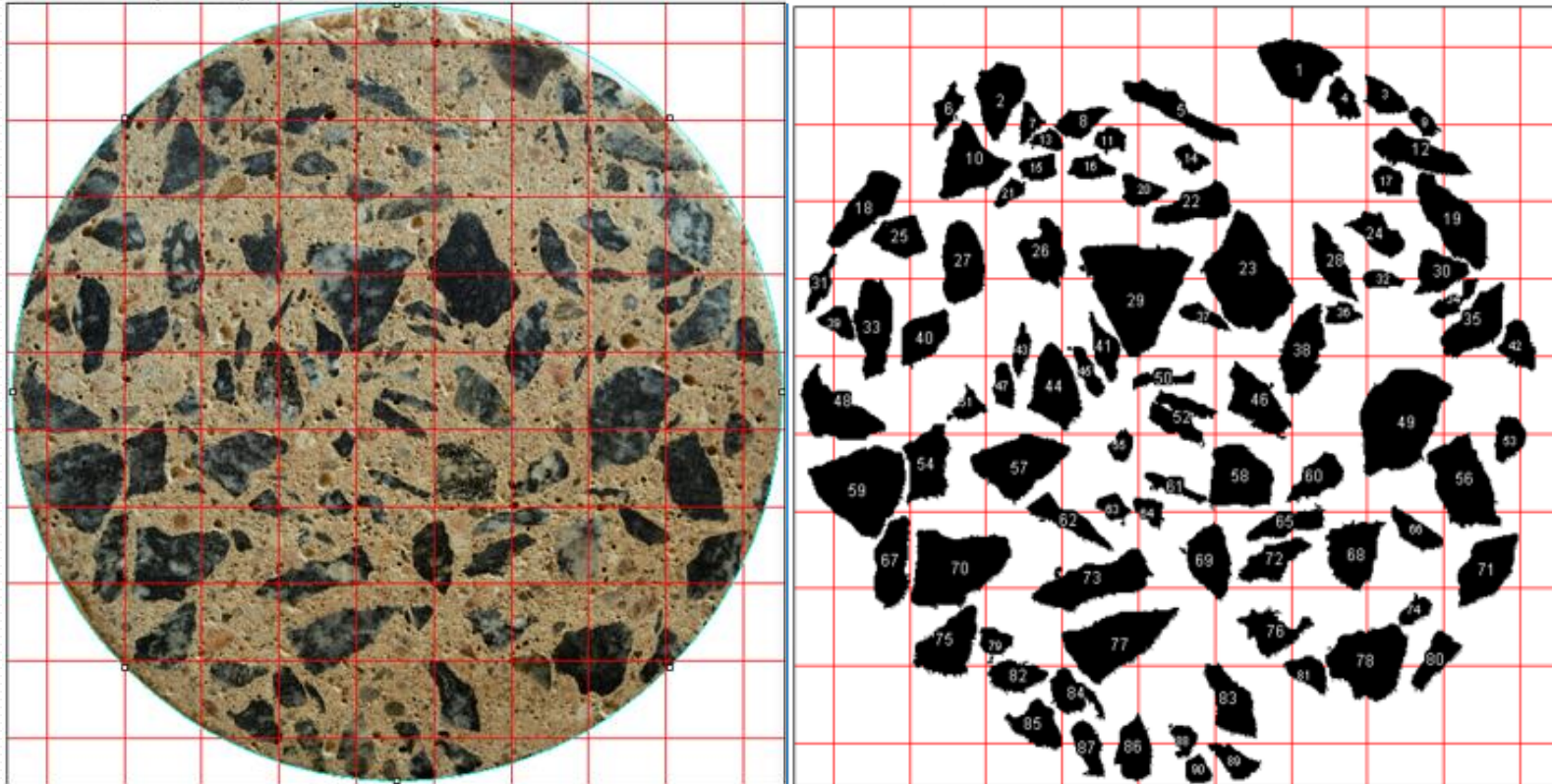
Pre-proceso



Poros: bordes no definidos

[Fuente: Moreira Canut (2011)]

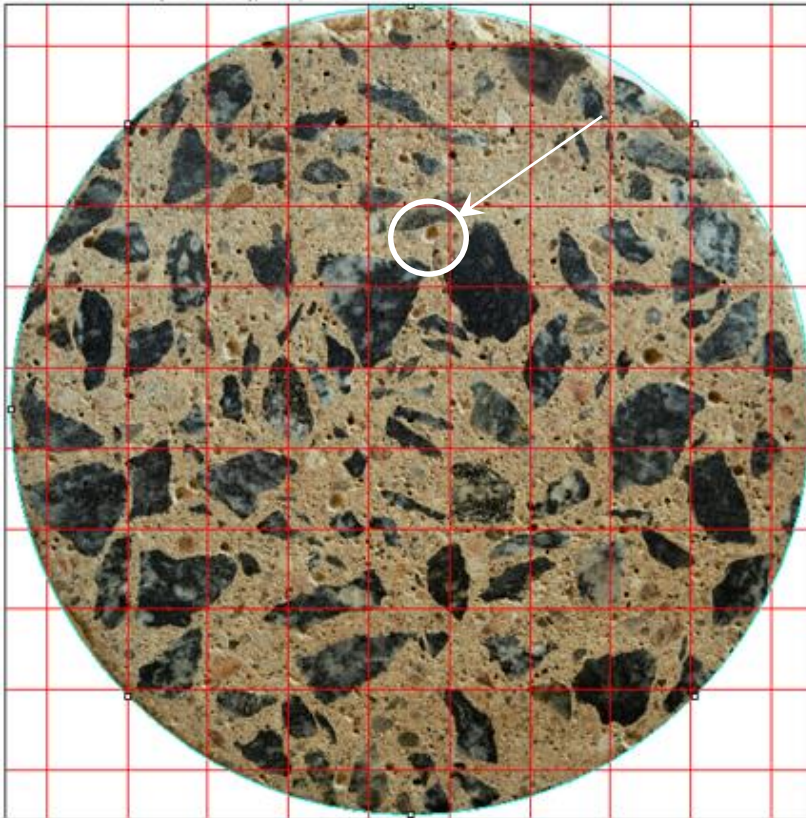
Segmentación del agregado grueso



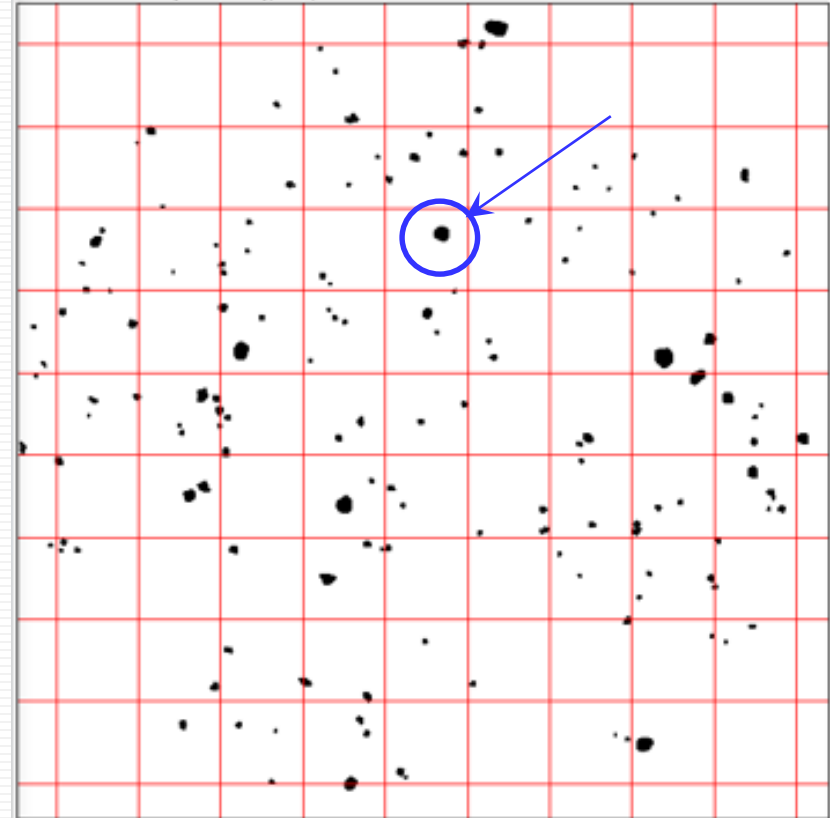
Original

Segmentada

Segmentación de poros

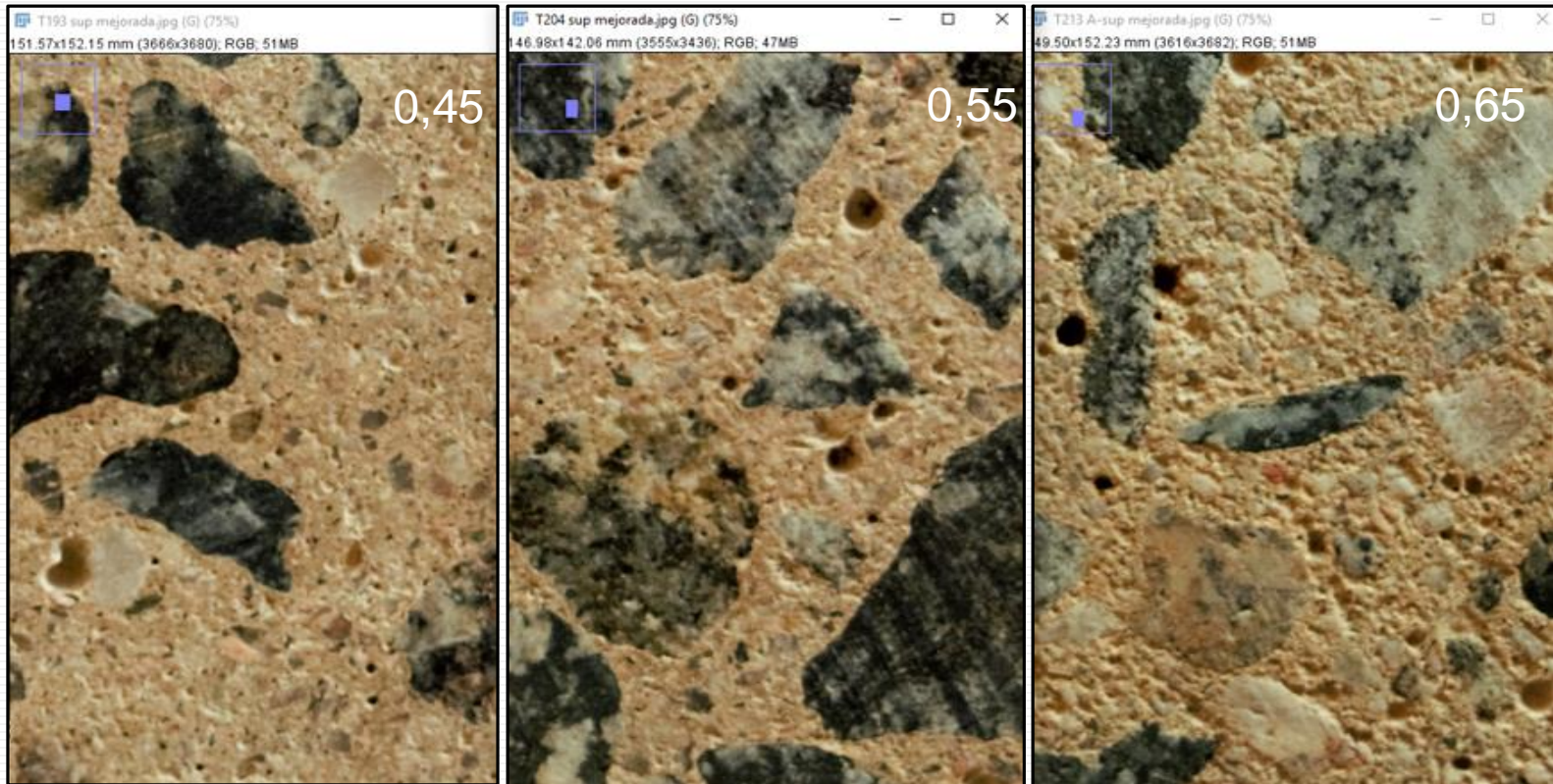


Original



Segmentada

RESULTADOS y DISCUSIÓN

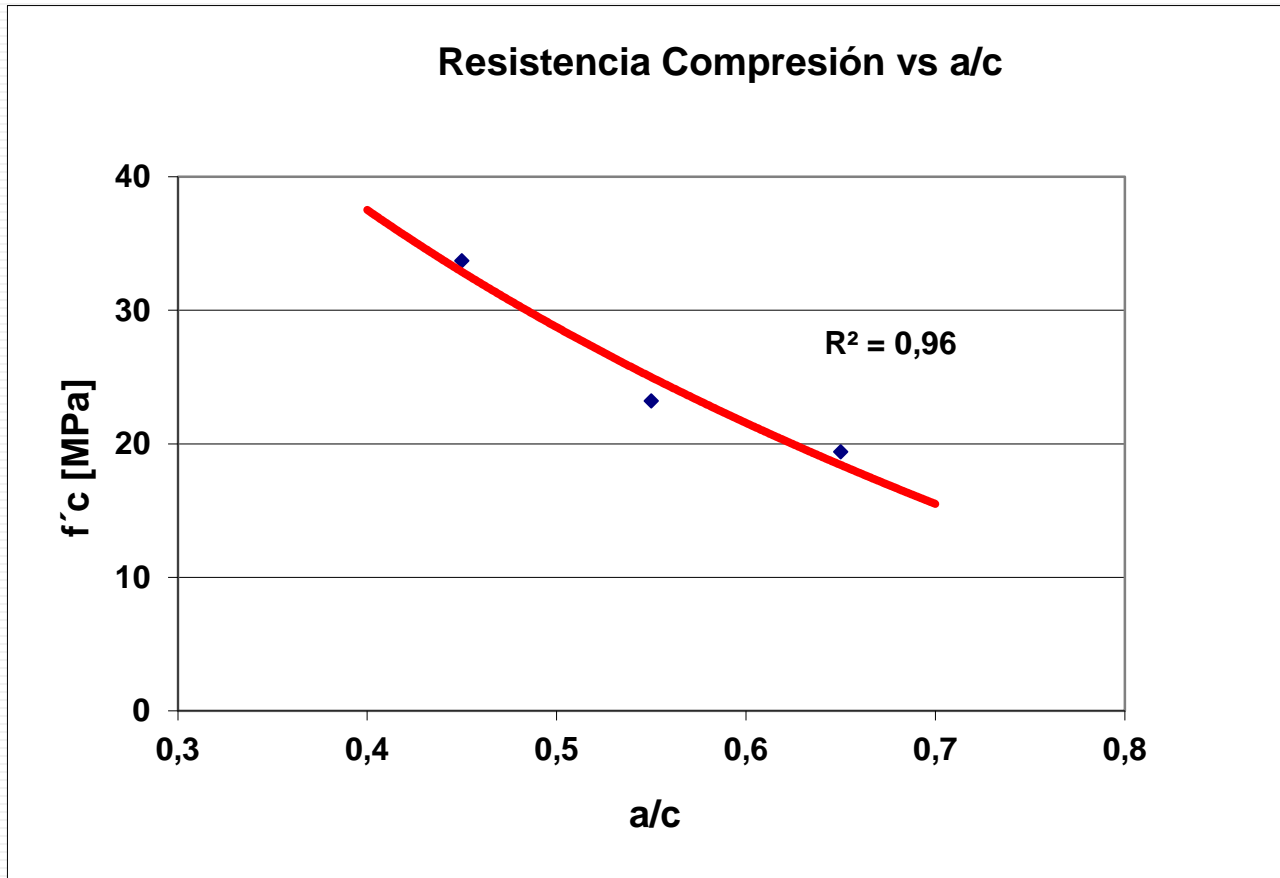


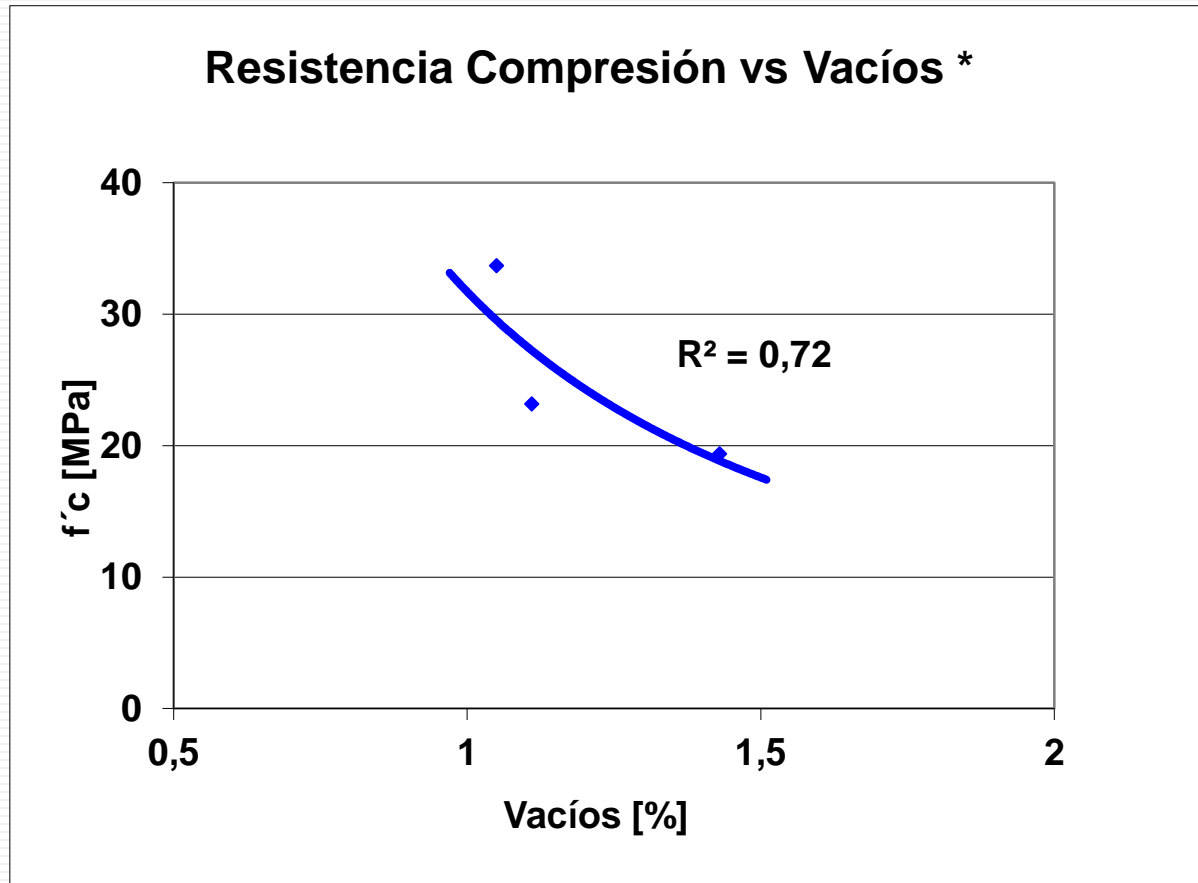
Superficies de muestras (75% aumento)

- Las imágenes revelan un **aumento en la porosidad de escala milimétrica**, poniéndose de manifiesto en una **mayor rugosidad a medida que aumenta la RAC**

Resultados promedio	Hormigones		
	T-193	T-204	T-213
Determinaciones en laboratorio			
Porosidad abierta (%)	10,56	12,43	13,19
Absorción (%)	4,51	5,39	5,75
Capacidad de succión (gr/m ²)	805	816	1468
Velocidad succión capilar (g/m ² s ^{1/2})	1,19	1,29	2,14
Resistencia a compresión (MPa)	33.73	23.23	19.4
Módulo de elasticidad (GPa)	30.9	28.4	28.7
Velocidad de ultrasonido (m/sg)	4286	4240	4048
Índice esclerométrico	41	39	35
Determinaciones con D.I.P.			
Agregado grueso (%)	30.63	37.66	38.44
Mortero s/vacíos (%)	68,32	61,23	60,12
Vacíos (%) - Poros de área mínima = 0,78 mm ² -	1.05	1.11	1.43
a/c	0,45	0,55	0,65

- Sólo se analizó **una cara** de cada muestra.
- El análisis de la cara restante aportará información complementaria. Permitirá promediar los valores y disminuirá el margen de incertidumbre sobre la distribución real de la de las inclusiones (piedras) y vacíos en la matriz (mortero).

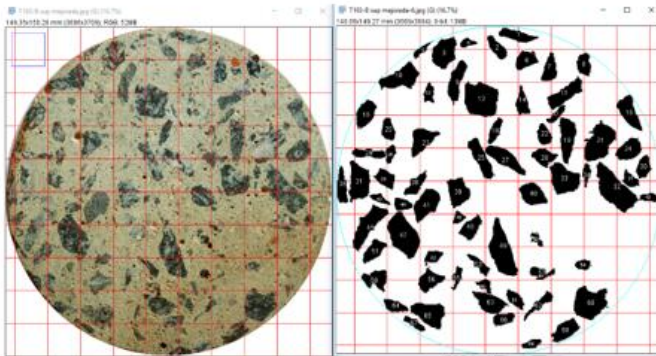




* poros de área mínima = $0,78 \text{ mm}^2$

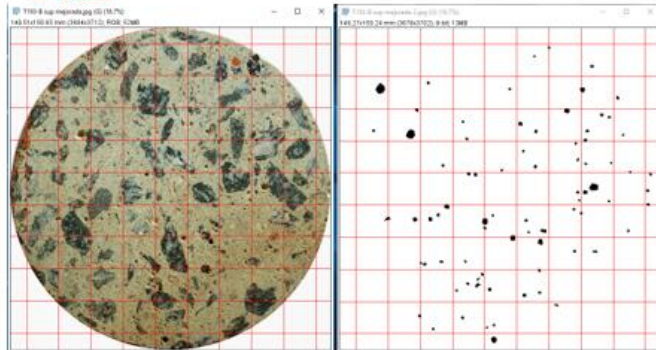
Congreso	CONPAT. Asunción 2017	ANEXO 1
Muestra	T 193 B - <u>sup</u> (RAC = 0,45)	
Asunto	Separación de agregados y vacíos. Observaciones	
Realizó	HFB	UTN F.R.Rafaela, Feb/17

1. AGREGADOS GRUESOS



Coord. centro rodaja (mm)	Coord CM rodaja (mm)	Desv. Media
X = 75	Xcm = 70,34	2,33
Y = 75	Ycm = 77,63	1,32

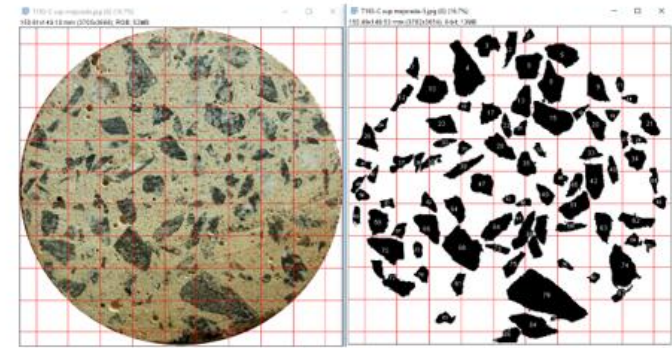
2. Vacíos



Coord. centro rodaja (mm)	Coord CM rodaja (mm)	Desv. Media
X = 75	Xcm = 75,75	0,38
Y = 75	Ycm = 74,63	0,19

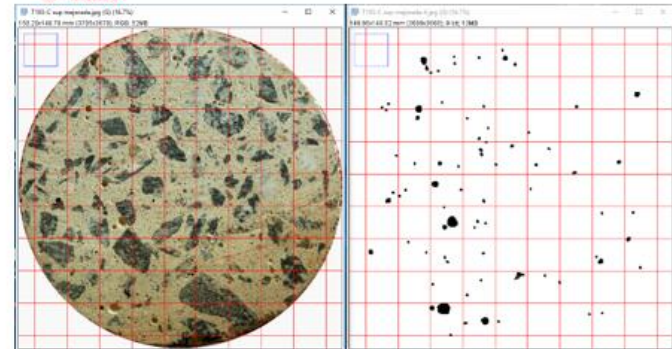
Congreso	CONPAT. Asunción 2017	ANEXO 1
Muestra	T 193 C - <u>sup</u> (RAC = 0,45)	
Asunto	Separación de agregados y vacíos. Observaciones	
Realizó	HFB	UTN F.R.Rafaela, Feb/17

1. AGREGADOS GRUESOS



Coord. centro rodaja (mm)	Coord CM rodaja (mm)	Desv. Media
X = 75	Xcm = 76,44	0,72
Y = 75	Ycm = 74,42	0,29

2. Vacíos



Coord. centro rodaja (mm)	Coord CM rodaja (mm)	Desv. Media
X = 75	Xcm = 57,88	8,56
Y = 75	Ycm = 66,03	4,49

Lo que sigue...



$$y_{(x)} = \text{Constante} + B_1 (x_1) + B_2 (x_2) + B_3 (x_3)$$

Donde:

B_1 = Mortero (%)

B_2 = Velocidad ultrasonido

B_3 = Índice esclerométrico



<https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

WEKA

- Colección de algoritmos de *machine learning* para implementar minería de datos (*data mining*).
- Contiene herramientas para el pre-procesamiento de datos, clasificación, regresión, clustering, reglas de asociación y visualización.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos son alentadores; hasta el momento deben tenerse como meramente exploratorios en el **inicio de la evaluación** de la resistencia de hormigones a compresión y otros parámetros a partir del tratamiento digital de imágenes.
- Los resultados de ensayos de laboratorio tienen una **buena correlación** con los obtenidos a partir del procesamiento de imágenes con el software “*ImageJ*”.
- El software empleado, *ImageJ*, es una **herramienta muy útil y potente** para el procesamiento digital de las imágenes y es utilizado en amplios campos de la ciencia (fundamentalmente en nanotecnología).
- Un camino abierto a este tipo de estudios es profundizarlos mediante la aplicación de redes neuronales artificiales (RNA), para lo cual se deberá **alimentar la información ampliando el número y diversidad de muestras**.

