



PROCESADO DIGITAL DE IMAGEN PARA LA VALORACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS PROCESOS DE BIODESALACIÓN /BIOLIMPIEZA EN LOSAS DE GRANITO DEL PAVIMENTO DE LA CAPILLA DEL CRISTO DE LA IGLESIA DE STA MARÍA DEL CONXO, SANTIAGO DE COMPOSTELA

Lucía Brenes Lluna

Tutor: Ignacio Bosch Roig

Cotutor: Pilar Bosch Roig

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2020-21

Valencia, 30 de junio de 2021



Resumen

Para la selección de las metodologías de limpieza y desalación más adecuadas del patrimonio, los restauradores e investigadores, realizan previamente “catas” de limpieza, que consisten en pequeñas pruebas de limpieza con los distintos productos y materiales disponibles. Para poder evaluar la eficacia de esas catas y compararlas entre sí, existe un creciente interés por el uso de sistemas no invasivos ya que la mayoría de los sistemas actuales implican toma de muestra invasiva y procesos analíticos costosos en tiempo y dinero.

Este proyecto pretende utilizar el procesado digital de imagen para estimar la eficacia de diversos procesos de limpieza. Este tipo de sistema, además de ser no invasivo, y por tanto no generar alteraciones del material artístico, pretende reducir tiempo y costes.

Se realiza el análisis digital de imágenes de diversas catas de biolimpieza sobre las losas de granito ennegrecidas por la presencia de sales, de la Capilla del Cristo de la Iglesia de Santa María del Conxo de Santiago de Compostela. Para ello se realiza un control fotográfico de las losas antes y después de las limpiezas. Posteriormente se realiza la adecuación de las imágenes para su correcto procesado posterior, mediante técnicas de procesado morfológico de las imágenes, así como la estimación de la limpieza de las losas mediante el cálculo de las diferencias de iluminación, una vez corregida ésta antes y después del tratamiento. Para finalizar generaremos gráficas comparativas entre las losas con el mismo tratamiento y con diferentes tratamientos para observar su evolución.

Resum

Per a la selecció de les metodologies de neteja i dessalació més adequades del patrimoni, els restauradors i investigadors, realitzen prèviament “tastos” de neteja, que consisteixen en xicotetes proves de neteja amb els diferents productes i materials disponibles. Per a poder avaluar l'eficàcia d'aqueixos tastos i comparar-les entre si, existeix un creixent interès per l'ús de sistemes no invasius ja que la majoria dels sistemes actuals impliquen presa de mostra invasiva i processos analítics costosos en temps i diners.

Aquest projecte pretén utilitzar el processament digital d'imatge per a estimar l'eficàcia de diversos processos de neteja. Aquest tipus de sistema, a més de ser no invasiu, i per tant no generar alteracions del material artístic, pretén reduir temps i costos.

Es realitza l'anàlisi digital d'imatges de diversos tastos de bioneteja sobre les lloses de granit ennegrides per la presència de sals, de la Capella del Crist de l'Església de Santa Maria del *Conxo de Santiago de Compostel·la. Per a això es realitza un control fotogràfic de les lloses abans i després de les neteges. Posteriorment es realitza l'adequació de les imatges per al seu correcte processament posterior, mitjançant tècniques de processament morfològic de les imatges, així com l'estimació de la neteja de les lloses mitjançant el càlcul de les diferències d'il·luminació, una vegada corregida aquesta abans i després del tractament. Per a finalitzar generarem gràfiques comparatives entre les lloses amb el mateix tractament i amb diferents tractaments per a observar la seua evolució.



Abstract

For the selection of the most appropriate cleaning and desalination methodologies for heritage, restorers and researchers previously perform cleaning "tastings", which consist of small cleaning tests with the different products and materials available. In order to evaluate the effectiveness of these tastings and compare them with each other, there is a growing interest in the use of non-invasive systems, since most of the current systems involve invasive sampling and costly and time-consuming analytical processes.

This project aims to use digital image processing to estimate the effectiveness of various cleaning processes. This type of system, in addition to being non-invasive, and therefore not generating alterations of the artistic material, aims to reduce time and costs.

The digital analysis of images of various bio-cleaning tests on the granite slabs blackened by the presence of salts in the Chapel of Christ in the Church of Santa Maria del Conxo in Santiago de Compostela was carried out. A photographic control of the slabs before and after cleaning was carried out. Subsequently, the images are adapted for their correct post-processing, using morphological image processing techniques, as well as estimating the cleaning of the slabs by calculating the differences in illumination, once corrected before and after the treatment. Finally, we will generate comparative graphs between the slabs with the same treatment and with different treatments to observe their evolution.



Índice

1.	Introducción	2
1.1.	Contexto histórico de la parroquia de Santa María de Conxo	2
1.2.	Estudios previos de la problemática existente en el pavimento de la capilla del Cristo en la iglesia de Santa María de Conxo	4
2.	Objetivos del trabajo	8
3.	Metodología del trabajo	9
4.	Desarrollo y resultados.....	10
4.1.	Materiales de trabajo	10
4.2.	Procesado.....	11
4.3.	Programa principal	24
4.4.	Interfaz de usuario	29
4.5.	Resultados.....	38
4.5.1	Resultados de la losa 40	38
4.5.2	Resultados de la losa 36	47
5.	Conclusiones y líneas futuras.....	57
6.	Bibliografía	59
7.	ANEXO I	60

1. Introducción

1.1. Contexto histórico de la parroquia de Santa María de Conxo

La Parroquia de Santa María de Conxo se encuentra situada al sur de la ciudad de Santiago de Compostela, en la provincia de A Coruña, Galicia. Recorrida en sus cercanías por el río Sar, cuenta en su haber con tres entidades de población, siendo estas A Curuxeira, A Rocha Vella y O Porto de Conxo. En el centro de esta barriada compostelana se sitúa el Monasterio de Santa María del Conxo, que alberga la Iglesia dedicada a la misma Virgen, además del claustro y la capilla del Santo Cristo, de la cual se ha extraído la muestra a analizar y sobre la que se ha realizado la investigación y el ensayo planteado en este trabajo.

Existen leyendas tradicionales transmitidas generación tras generación entre los habitantes de Santiago y la barriada de Conxo, afirmando que el Monasterio fue fundado a principios del siglo XII por una cortesana italiana de nombre Rusuida [1] para dar digna sepultura a su marido, asesinado durante su peregrinaje en el Camino de Santiago. Si bien esto no está confirmado a ciencia cierta, según los documentos históricos la impulsión de la construcción del Monasterio de Santa María de Conxo fue llevada a cabo por don Diego Xelmírez (1070?-1140), primer arzobispo de Santiago y principal impulsor y valedor de la construcción de la Catedral de Santiago de Compostela, declarada Bien de Interés Cultural en 1896 [2]. Así pues, según recogen los archivos históricos de Santiago, en el año 1106 el arzobispo Xelmírez levantó en Conxo un convento sobre una antigua iglesia románica del siglo X dedicada a la Virgen de la Concha, la cual era un edificio modesto, de reducido tamaño y que se encontraba en un estado deplorable.

En dicho convento [3] se instalaron las monjas benedictinas que formaban parte de la primera comunidad religiosa en Galicia, y además de ello, se sabe que fue fundado en 1129, tal y como indica la inscripción presente en los arcos románicos del claustro interior, hoy en día todavía conservados. Dichas monjas habitaron en el convento hasta el siglo XV (c. 1495), tiempo en el que se trasladaron al Monasterio de San Pelayo de Antealtares debido a las reformas perpetradas por los Reyes Católicos. Tras el traslado de las monjas benedictinas, el Monasterio quedó totalmente deshabitado y prácticamente abandonado hasta que en el siglo XVI fue nuevamente habitado por los monjes pertenecientes a la Orden de la Merced [4], los cuales se encargaron de demoler y tirar abajo la antigua iglesia románica del siglo XII para edificar una nueva iglesia de mayores dimensiones, que además de albergar a la comunidad de monjes fuera capaz de cumplir las funciones de parroquia y lugar de culto para los feligreses, pasando a conocerse esta nueva iglesia como Parroquia de la Merced o Iglesia de Nuestra Señora de la Merced de Conxo, siendo su supuesto constructor y valedor el monje Fray Gabriel de las Casas.

La fundación como convento mercedario fue confirmada por el Papa Sixto IV el 22 de marzo de 1483, recibiendo desde entonces numerosos privilegios y convirtiéndose así los mercedarios en una de las órdenes más ricas en Galicia y en España.

Por otra parte, el levantamiento y la construcción de la capilla del Santo Cristo [5] que sirve como eje central de este trabajo se remonta a los tiempos de origen de la primitiva iglesia románica. La idea y decisión de llevar a cabo su construcción fueron del padre Alberto Gómez, quien la encargó al maestro Simón Rodríguez, contando con el apoyo económico y el respaldo del obispo de Tarazona, Fray García de Pardiñas y Villar de Francos. Rodríguez tardaría aproximadamente 7 años en construir la capilla, la cual finalmente fue inaugurada en 1743 y en cuyo interior se encuentra una imagen de Cristo Crucificado tallada por Gregorio Fernández.

Los monjes mercedarios habitaron el Monasterio hasta el siglo XIX, momento en el que se llevó a cabo la Desamortización en España, obligándolos a ser trasladados y a establecerse en el Monasterio benedictino de San Juan de Poio (Pontevedra) en 1835. De este modo, con el traslado de los monjes de la Orden de la Merced se abre un nuevo capítulo en la historia del Monasterio de Santa María de Conxo.



Figura 1: Pasillos del claustro del Monasterio de Santa María de Conxo.

Es a partir del traslado de los mercedarios en el siglo XIX cuando el futuro del Monasterio de Santa María de Conxo parece tomar un rumbo incierto, pues en aquel momento las instituciones de gobierno gallegas y la Iglesia barajaban multitud de opciones diferentes sobre qué decisión tomar respecto a un edificio de tanta importancia y valor histórico para la ciudad de Santiago de Compostela, incluyéndose entre estas opciones la posibilidad de llevar a cabo su demolición. Sin embargo, finalmente esto no acabó teniendo lugar, dado que se decidió conservar el templo para el culto de los fieles y su uso religioso, si bien la mayor parte de las dependencias del Monasterio fueron adaptadas y remodeladas para poder albergar un hospital psiquiátrico [6] que diera cobijo y tratamiento para enfermos mentales, tal y como mandó hacer el Cardenal Payá entre 1883 y 1885.

Así pues, el Sanatorio Psiquiátrico Provincial fue inaugurado el 1 de julio de 1885, quedando rápidamente obsoletas y desbordadas sus instalaciones dada la elevada afluencia de enfermos, siendo necesaria una ampliación que llegaría en 1902 con la inauguración de un nuevo edificio anexo a la parte antigua del Monasterio, cuyo claustro románico puede visitarse solicitando permiso en la recepción del sanatorio, en 1993 finalmente convertido en Hospital Psiquiátrico perteneciente al sistema sanitario público de Santiago de Compostela y actualmente en funcionamiento.



Figura 2: Vista exterior de la iglesia de Santa María de Conxo.

1.2. Estudios previos de la problemática existente en el pavimento de la capilla del Cristo en la iglesia de Santa María de Conxo

En los últimos años se ha registrado en la capilla del Cristo (*Figura 3*) de la Iglesia de Santa María de Conxo la presencia de elevadas concentraciones salinas, concretamente de tipo nitratos y sulfatos. Dichas sales aparecen frecuentemente en la superficie de los elementos pétreos, los monumentos y edificios históricos de esta zona de España, cuyo clima oceánico incide especialmente a la hora de generar una humedad elevada en el ambiente, la cual resulta un vehículo capaz de acelerar la aparición de sales y, por ende, de deterioros a causa de la acción de estas.

El objeto de estudio del presente trabajo lo constituyen las losetas de granito que conforman el pavimento de la Capilla del Cristo de la Iglesia de Santa María de Conxo, localizada al sur de Santiago de Compostela. Dicho pavimento presenta manchas y un oscurecimiento general en toda su superficie a causa de la contaminación originada por la higroscopicidad de las sales de tipo nitratos [7].



Figura 3. Vista general de la Capilla del Cristo



Figura 4. Enlosado de granito de la Capilla del Cristo.

De este modo, dada la problemática existente en el pavimento de la capilla causada debido a la presencia de sales higroscópicas, diferentes procesos de control y pruebas de eliminación de estas sales fueron llevados a cabo, junto con la mejora del sistema de ventilación de la capilla, siendo todos estos estudios financiados por el Consorcio de Santiago [8].

En primer lugar, para tratar de poner solución al problema de las sales se realizaron pruebas y estudios in situ en los que se emplearon métodos tradicionales de desalación, en los cuales se hacía uso de papetas, aplicándolas en distintos tiempos y con diferentes composiciones. Junto con la aplicación de las distintas papetas también se realizaron unas sencillas pruebas de limpieza mecánica utilizando chorro de arena. Por último, también se probaron métodos alternativos de desalación mediante bacterias desnitrificantes, para de esta manera observar los resultados de una biolimpieza y la capacidad de las bacterias utilizadas para reducir el nivel de nitratos sobre la superficie del pavimento de la capilla.

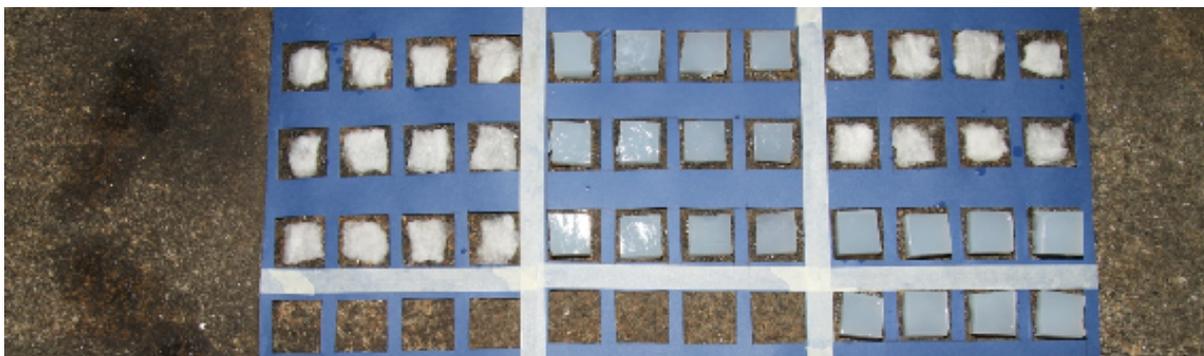


Figura 5. Pruebas de desalación in situ realizados sobre el pavimento de la capilla (origen de la foto_ Bosch-Roig et al. Sustainability 2019).

Por otro lado, para comprobar la efectividad de los métodos empleados se realizaron diferentes pruebas, partiendo del Tratamiento Digital de Imagen (TDI) con el que se compararon los datos de tono y color de las imágenes tomadas antes y después de los procesos de desalación.

Junto con el TDI también se midió la conductividad superficial tanto antes como después de la desalación.

Para detectar la presencia de sales solubles en la superficie de granito del pavimento de la capilla se emplearon tiras reactivas semicuantitativas, aplicándolas sobre un empaco ligeramente húmedo, el cual se encarga de atrapar y retener las sales superficiales del granito, y las papetas utilizadas para desalar. Pasados unos instantes, las tiras reactivas (marca Quantofix®) presentan un color determinado, del cual nos podemos valer para aproximar los datos de concentración de sales solubles y la presencia de iones nitrito, nitrato y cloruros.



Figura 6. Determinación de la presencia de sales sobre el pavimento de la capilla.

El objetivo real de estos procesos no era el de desalar completamente las piedras del enlosado de la capilla, dada la imposibilidad de obtener dicho resultado, sino que en lugar de ello se pretendía reducir la cantidad de sales superficiales de manera que el enlosado pudiera secar. Este estudio preliminar, mostró que, de entre los tres métodos de desalación aplicados y estudiados, el que mejor resultado ofreció fue el método de desalación con agar-agar y bacterias [9]. Por ello se decidió aplicar a todo el pavimento de la capilla (233m²) este sistema de bio-desalación con la intención de elimine las patologías del pavimento de la capilla.

Para poder monitorizar, comparar y cuantificar el proceso de limpieza se pone a punto este sistema de análisis digital de imagen el cual ofrecerá de forma más sencilla la evolución de los tratamientos con el paso del tiempo.



2. Objetivos del trabajo

En este Trabajo Fin de Grado tenemos como objetivo principal desarrollar un programa utilizando una técnica no invasiva que utilice el tratamiento digital de imágenes (TDI) para observar la eficacia y la evolución del proceso de limpieza de las losas de granito del pavimento de la Capilla del Cristo de la Iglesia de Sta. María del Conxo, en Santiago de Compostela, que pretende reducir tiempo y costes.

Para llegar a desarrollar el objetivo principal, enumeraremos diferentes objetivos secundarios a llevar a cabo:

- Estudio de diferentes formas de acondicionamiento de las imágenes para que todas las imágenes tengan las mismas características y se puedan comparar entre ellas. Cuando hablamos de las mismas características, hablamos de tener por ejemplo la misma iluminación. Para ello realizaremos los siguientes pasos:
 - o Transformaciones de color.
 - o Segmentación de imágenes.
 - o Técnicas de procesado morfológico.
 - o Cálculo de las diferencias de iluminación.
 - o Adecuación de las imágenes para su representación.
 - o Obtención de resultados fiables.
- Estudio de las diferentes interfaces con las que se puede trabajar en Matlab que permita organizar los datos y representar el resultado de forma clara.

Por consiguiente, los requisitos que debe de tener la herramienta para que sea funcional son:

- Obtener resultados coherentes y lo más fiables que se pueda.
- El programa debe de ser sencillo y claro para el usuario que lo utiliza.
- En cuanto a la aplicación debe de ser lo más rápido y eficiente que permita el entorno de programación.

3. Metodología del trabajo

Las imágenes utilizadas en el trabajo fueron proporcionadas por la Dra. Pilar Bosch, dichas imágenes son en primer lugar, métodos tradicionales de desalación, también se realizaron pruebas de limpieza mecánica utilizando chorro de arena y, por último, también se utilizaron métodos alternativos de desalación mediante bacterias des nitrificantes. Estos tratamientos tienen imágenes de un antes y un después en varios momentos distintos, es decir, un mes, seis meses y un año después de probar dicho tratamiento.

Para que sea más fácil la detección de la zona de la losa que queremos analizar hemos utilizado una plantilla de color azul, la cual nos ayudará a obtener el área deseada y una referencia para tratar de mantener una luminosidad constante.

El Dr. Ignacio Bosch, me proporcionó una versión preliminar del programa de procesado para seguir a partir de él y partir de una base ya sólida.

El programa final está dividido en dos funciones, la función principal que se encarga tanto de inicializar variables como de obtener las dimensiones deseadas de las imágenes, y el propio procesado de la imagen, que se ilustrará con detalle en el apartado de desarrollo y resultados.

Por tanto, la metodología de trabajo seguida es la siguiente:

En primer lugar, organizar las imágenes de manera que sea más fácil distinguir las losas de un mismo tratamiento para su posterior procesado. En nuestro caso las hemos organizado de la siguiente manera: número de la losa + ini/fin/fin2. El número de la losa es para diferenciar el tratamiento usado y el ini/fin/fin2 para distinguir el tiempo que lleva usándose el tratamiento. La losa que se nombra como limpia, es una imagen de referencia para observar la limpieza total.

En cuanto al procesado de dichas imágenes lo primero que realizaremos será la descomposición las imágenes en el formato de Tono, Saturación y Valor (HSV) para obtener las máscaras de cada una de ellas, posteriormente eliminaremos elementos espúeros tanto interiores como exteriores para tener una imagen más clara. A continuación, seleccionaremos una zona de la plantilla azul de referencia, en escala de grises, para poder compensar los elementos de iluminación y, por último, obtendremos la región correcta.

Una vez procesadas las imágenes seleccionaremos la dimensión mínima de las imágenes para corregir el ancho y alto de dichas imágenes, para que a la hora de representar tengan los mismos píxeles y sin sombras alrededor.

Obtendremos los resultados y los representaremos.

Para acabar, generaremos una interfaz para que el usuario pueda manejar de forma más sencilla las imágenes y obtenga los resultados de forma más clara de una losa en diferentes momentos. Estos resultados podremos guardarlos en formato de datos de Matlab “.mat” dándole a un botón.

No obstante, para comparar varios resultados hemos realizado otra interfaz que podrá comparar losas distintas con los resultados guardados anteriormente de la misma losa en distintos instantes de tiempo.

4. Desarrollo y resultados

En este apartado desarrollaremos con más precisión el Trabajo Fin de Grado, empezaremos con los materiales utilizados pasando por todas las fases del programa. Nos servirá para conocer mejor la función del programa y de que está compuesto. Desarrollaremos tanto la función principal, la encontraremos en el subapartado 4.3, como la interfaz de usuario, en el subapartado 4.4, pasando por la función del procesado de las imágenes, subapartado 4.2, y, por último, comentaremos los resultados obtenidos de la comparación realizada con las losas 22, 36 y 40, las cuales tomaremos como ejemplo para los diferentes apartados.

4.1. Materiales de trabajo

En nuestro caso solo nos han hecho falta las imágenes ofrecidas por la Dr. Pilar Bosch. Para facilitar la distinción de las losas tanto diferenciarlas entre sí como diferenciar la misma con el paso del tiempo las hemos guardado de la siguiente forma:

22 fin.jpg	21/09/2020 9:12	Archivo JPG	1.003 KB
22 fin2.jpg	21/09/2020 9:12	Archivo JPG	618 KB
22 ini.jpg	21/09/2020 9:12	Archivo JPG	1.190 KB
36 fin.jpg	21/09/2020 9:12	Archivo JPG	865 KB
36 fin2.jpg	21/09/2020 9:12	Archivo JPG	357 KB
36 ini.jpg	21/09/2020 9:12	Archivo JPG	429 KB
40 fin.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	985 KB
40 fin2.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	852 KB
40 ini.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	934 KB
41 fin.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	1.047 KB
41 fin2.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	660 KB
41 ini.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	1.102 KB
47 fin.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	911 KB
47 fin2.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	777 KB
47 ini.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	928 KB
48 fin.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	838 KB
48 fin2.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	551 KB
48 ini.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	881 KB
limpia1.jpg	27/04/2020 20:01	Archivo JPG	1.668 KB
limpia2.jpg	27/04/2020 19:55	Archivo JPG	454 KB
limpia3.jpg	27/04/2020 19:58	Archivo JPG	291 KB

Figura 7. Guardado de imágenes.

Los nombres de las losas están compuestos por:

- El número de losa (22, 36, 40...).
- El tiempo en que se ha tomado la imagen, es decir, en las imágenes donde pone “ini” es la losa sin tratamiento, la inicial. Las imágenes donde observamos “fin” es el primer tiempo (6 meses), y las que pone “fin2”, es un tiempo más largo que el anterior (aprox 1 año).
- Y también observamos “limpiax” que son las imágenes de referencia de limpieza total.

En el siguiente apartado desarrollaremos el procesado el cual nos servirá para analizar las imágenes.

4.2. Procesado

Una vez organizadas las imágenes procederemos al procesado de estas. El diagrama de bloques del procesado es el siguientes:

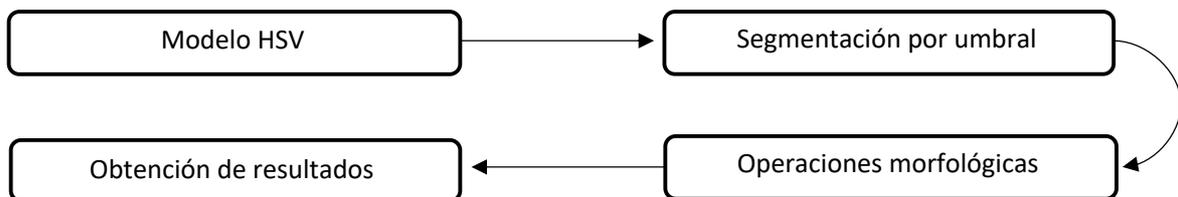


Figura 8. Diagrama de bloques del procesado.

Cuando las personas nos referimos a un color de un objeto no lo describimos dando porcentajes como en la descomposición RGB, en la que se dan porcentajes del contenido de cada uno de los colores primarios. Cuando vemos un color lo descomponemos en tono (H), saturación (S) y valor (V). Como consecuencia a esto, en este trabajo usaremos el modelo HSV porque corresponde al modelo más próximo al modo en que las personas podemos percibir el color. [10]

El modelo HSV se representa en un solo esquema cónico o circular que observamos en la *Figura 9*. El objetivo de dicho modelo es dar la máxima información posible dando información sobre el color en sí pero también sobre el brillo y cantidad de este, y todo ello representado en un mismo esquema cromático. [11]

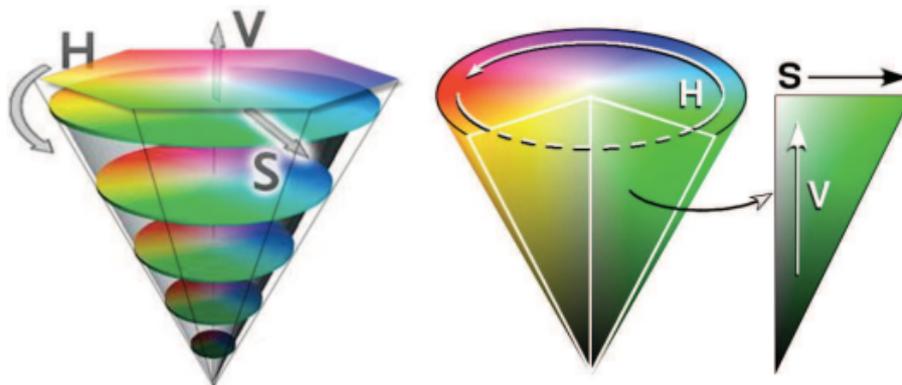


Figura 9. Esquema modo HSV.

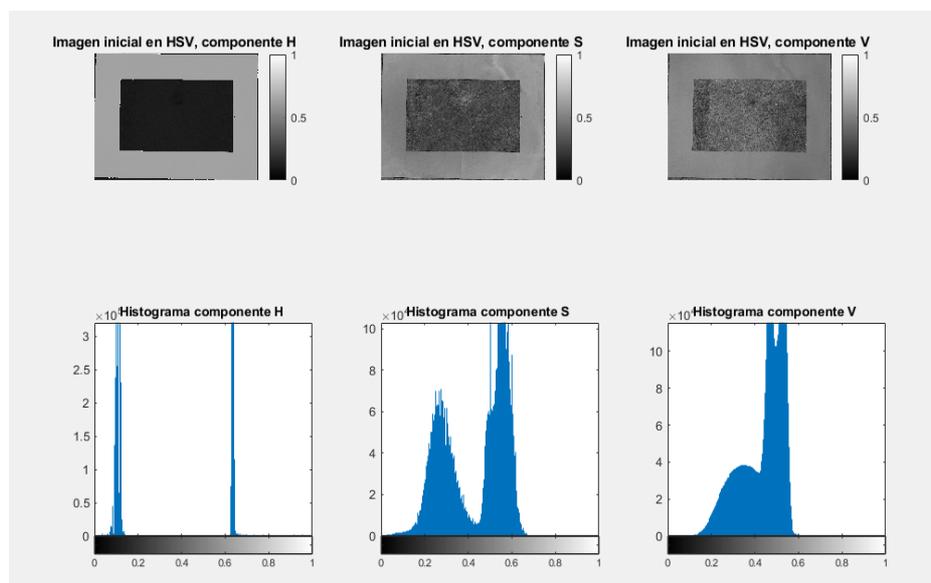
Estas tres dimensiones pueden tener los próximos valores:

- En cuanto al tono (H/M) se da como un ángulo entre 0° y 360° . La progresión cromática se simboliza en una rueda circular y este valor denota su posición. Como ejemplo, podríamos decir que 0° corresponde al rojo, 120° corresponde al verde y 240° corresponde al azul.
- La saturación (S) se expresa en porcentajes, de menos a más cantidad de color. Los valores oscilan desde el 0% hasta el 100% (o de 0 a 1). El 100% significa un color íntegramente saturado y puro, y cuán menor sea la saturación más se convierte el color a un gris neutro.
- El valor de luminosidad o brillo (V) que de igual forma es un porcentaje donde el 0% significa que no hay brillo, de manera que, sería negro y 100% sería brillo absoluto. [12]

A continuación, representaremos dichas componentes de las losas sin tratamiento número 22, 36 y 40 a modo de ejemplo.



a)

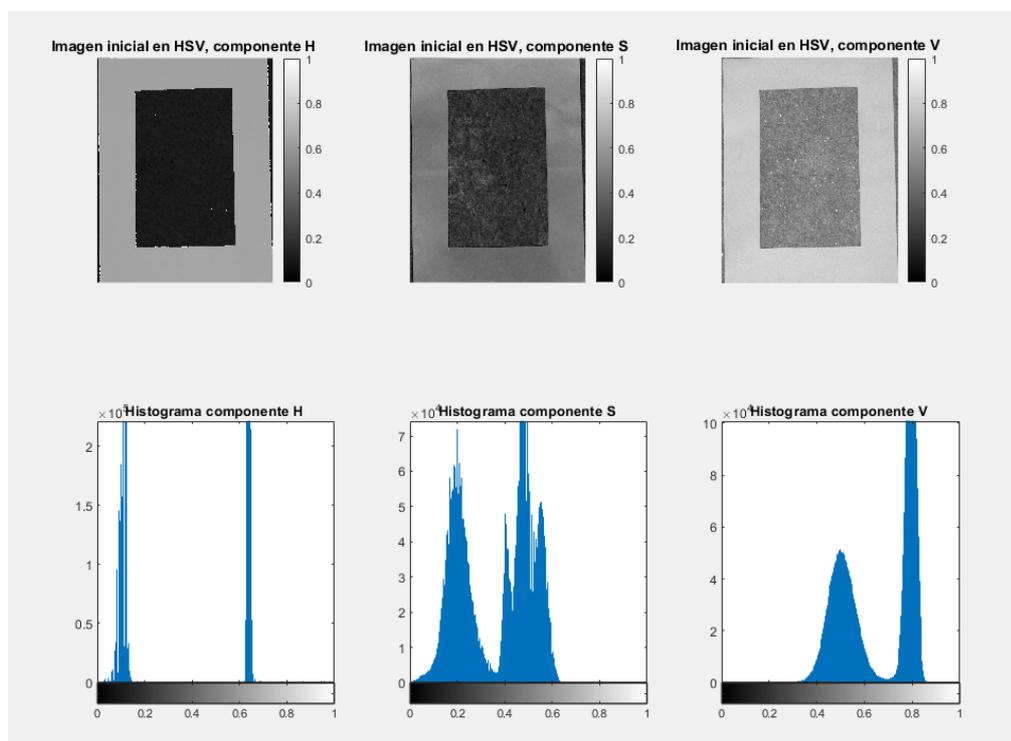


b)

Figura 10. a) Imagen 22ini. b) Descomposición HSV de la imagen 22ini.



a)

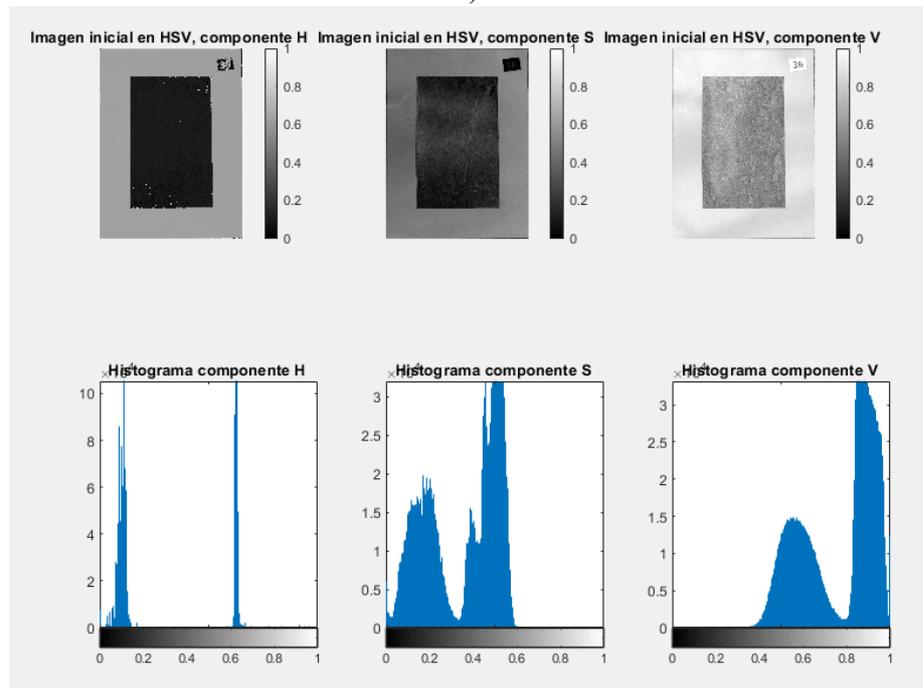


b)

Figura 11. a) Imagen 40ini. b) Descomposición HSV de la imagen 40ini.



a)



b)

Figura 12. a) Imagen 36ini. b) Descomposición HSV de la imagen 36ini.

Este modelo nos servirá para realizar la segmentación basada en características de píxeles (en este caso, el color). Mediante este modelo definiremos un límite para separar el objeto que queremos tomar de referencia del fondo, este umbral decide si la región pertenece o no a dicho objeto.



Figura 13. Segmentación por umbral.

Algunas de las ventajas de la segmentación basada en píxeles son:

- El uso de la segmentación por color suprime color no deseado y, por tanto, disminuye el número de bordes de la imagen. En resumen, la complejidad computacional en un detector de bordes se decrementa.
- Con propósito de la detección de objetos que tienen colores y formas muy definidas esta segmentación también es muy útil ya que el número de detecciones fallidas disminuye de forma considerable como hemos podido observar en la *Figura 13*. Por eso en nuestro caso hemos utilizado dicha segmentación, nosotros tenemos que detectar el rectángulo azul de las imágenes.

Para obtener las componentes de HSV en Matlab se utiliza una función específica que directamente transforma la imagen de RGB a HSV, la función es la siguiente: “rgb2hsv”. Este método nos servirá para hacer la segmentación de la imagen, es decir, diferenciar un objeto del fondo. Para ello tendremos que obtener un umbral.

Como podemos observar en la *Figura 10b*, *Figura 11b* y *Figura 12b*, Matlab trabaja con los límites 0 y 1, donde posteriormente para obtener la máscara utilizaremos las componentes H y S ya que la V es muy dispar entre las imágenes y nos interesa la similitud entre ellas.

Dichas figuras nos enseñan que hay partes en común tanto en la tonalidad (componente H), como en la saturación (componente S) por ello cogemos ambas de referencia para las máscaras. En la umbralización obtendremos un rango para ambas componentes, observando los histogramas de las diferentes imágenes, podemos decir que un umbral inferior razonable sería 0 para la componente H ya que todas las imágenes se acercan bastante y en cuanto al umbral superior de la componente H hemos utilizado la función “graythresh” que saca un umbral global de la imagen a través del método de Otsu. Para la componente S también hemos usado el método Otsu para obtener su umbral.

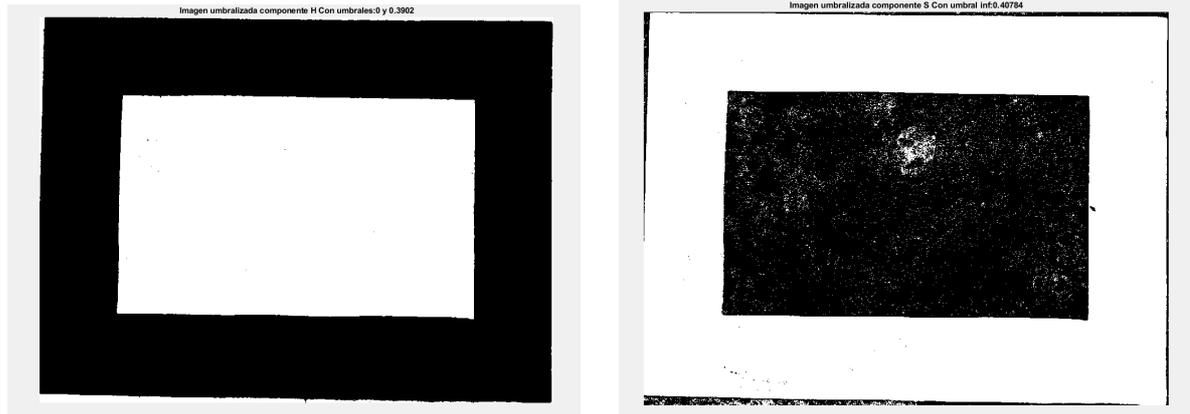
El método Otsu escoge un límite que minimiza la varianza intraclasses de los píxeles en blanco y negro con umbral. El umbral global se devuelve como un escalar numérico entre el 0 y el 1. El principio fundamental de este método es la semejanza entre los píxeles que son concernientes a un objeto y sus diferencias respecto al resto. [13]

Para las imágenes anteriores hemos obtenido los siguientes umbrales de ambas componentes:

<code>levelh =</code>	<code>levelh =</code>	<code>levelh =</code>
<code>0.3902</code>	<code>0.3902</code>	<code>0.3490</code>
<code>levels =</code>	<code>levels =</code>	<code>levels =</code>
<code>0.4078</code>	<code>0.3451</code>	<code>0.3216</code>
a)	b)	c)

Figura 14. A) Otsu de H y S, 22ini. B) Otsu de H y S, 40ini. C) Otsu de H y S, 36ini.

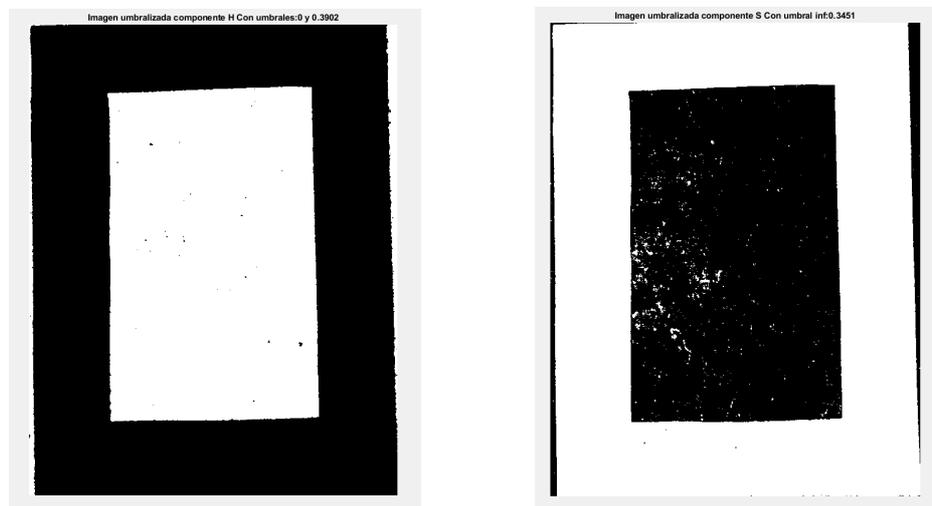
Teniendo estos valores ya podemos obtener la máscara tanto de la componente H como de la componente S, nos centraremos en el tono y en la saturación. La máscara de H será la multiplicación de la máscara de H inferior, que en este caso es todo lo que esté por arriba de umbral mínimo (como hemos dicho anteriormente, el umbral mínimo o inferior utilizado ha sido el 0), y la máscara de H superior, que es todo lo que esté por debajo del umbral del método de Otsu. Para la máscara de S será todo lo que esté por encima del umbral de Otsu hallado. En las siguientes figuras observaremos las máscaras halladas de las imágenes anteriores.



a)

b)

Figura 15. a) Máscara H, 22ini. b) Máscara S, 22ini.



a)

b)

Figura 16. a) Máscara H, 40ini. b) Máscara S, 40ini.

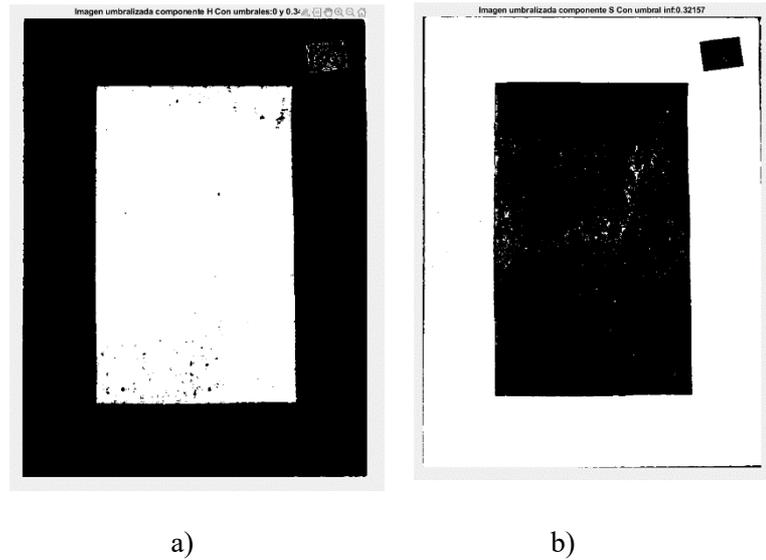
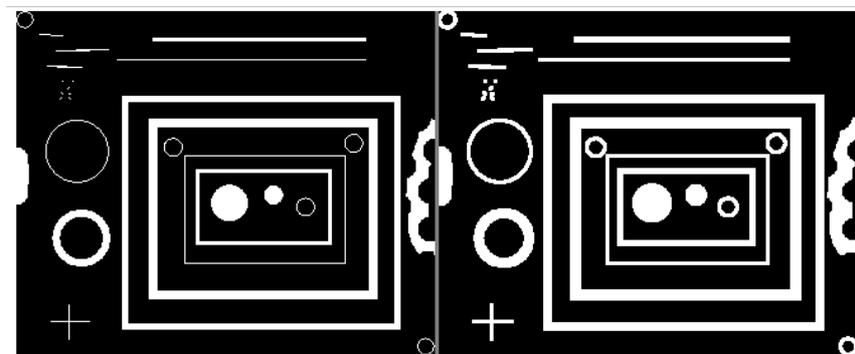


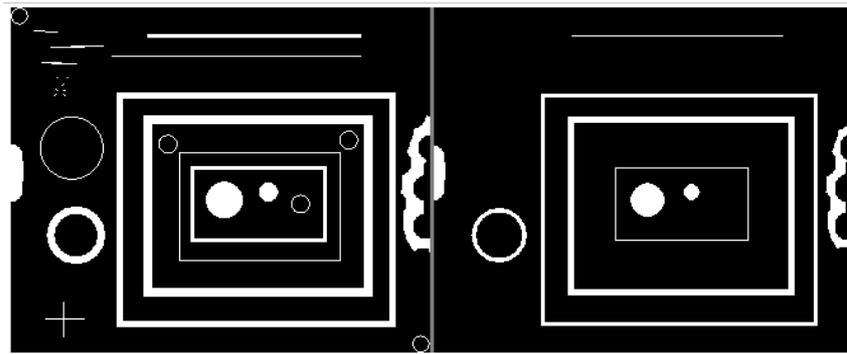
Figura 17. a) Máscara H, 36ini. b) Máscara S, 36ini.

Seguidamente nos interesa eliminar los elementos espurios, es decir, ya observamos las distintas zonas, pero no queremos que en estas se observen imperfecciones. Para ello utilizaremos las operaciones morfológicas más básicas de dilatación y erosión. Estas operaciones se aplican a una imagen binaria resultado de una segmentación de un rango determinado. En otras ocasiones, una imagen binaria es el producto de una selección de regiones de interés, las cuales se usarán como máscaras de referencia. Se procederá a hacer dichas operaciones en las máscaras halladas anteriormente.

La dilatación incrementa píxeles a los límites de los objetos de una imagen para que sean más visibles y rellena pequeños agujeros, mientras que la erosión suprime los píxeles en los límites de los objetos, excluye las islas y los objetos pequeños para que sólo queden cuerpos esenciales. El número de píxeles agregados o eliminados de los objetos de una figura depende del tamaño y forma del utilizado para procesar dicha figura. [14]



a)



b)

Figura 18. a) Dilatación. b) Erosión.

Profundizando en ambas operaciones morfológicas podemos decir que:

La **dilatación** es la transformación morfológica que une dos conjuntos usando agregación de vectores de los elementos del conjunto. Fue propuesta como una operación lógica de conjuntos para caracterizar la medida de ciertos conjuntos dispersos. Sea una imagen A y un elemento estructural B, donde ambas son imágenes binarias con fondo en blanco, la dilatación de A por B se define como:

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \emptyset\} \quad [4.2.1]$$

Debemos tener en cuenta que el primer elemento de la dilatación, A, es considerado como la imagen sometida al análisis de procesado y el segundo, B, recibe el nombre de elemento estructural, es decir, la forma que actúa sobre A en la dilatación para producir $A \oplus B$. [14]

Un ejemplo de dilatación sería el que se muestra en la *Figura 19*, donde se presenta la imagen binaria y el elemento estructural B, y donde vemos que corresponde a un crecimiento isotrópico o a un algoritmo de expansión, es una operación de vecinos, es decir, el valor del píxel de salida es el valor máximo de todos los píxeles cercanos del píxel de entrada. [16]

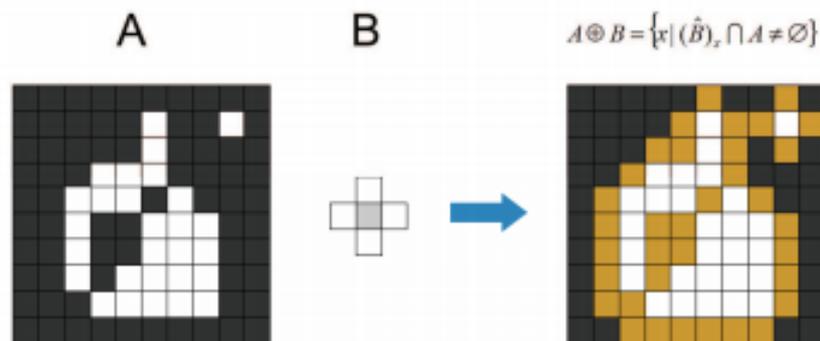


Figura 19. Ejemplo de dilatación.

En cuanto a la **erosión** es la operación dual a la dilatación. Es la transformación morfológica que combina dos conjuntos usando el vector de resta de los elementos del conjunto.

Sea una imagen A, y un elemento estructural B, como anteriormente ambas imágenes binarias con fondo blanco, la erosión de una imagen, A, por un elemento estructural, B, es el conjunto de todos los elementos x para los cuales B trasladado por x está contenido en A:

$$A \ominus B = \{x \mid B_x \subseteq A\} \quad [4.2.2]$$

Podemos observar que en la erosión el valor del píxel de salida es el valor mínimo de todos los píxeles cercanos del píxel de entrada. La erosión se concibe usualmente como una reducción de la imagen original. En el siguiente ejemplo lo podremos observar de manera más clara. [15,16]

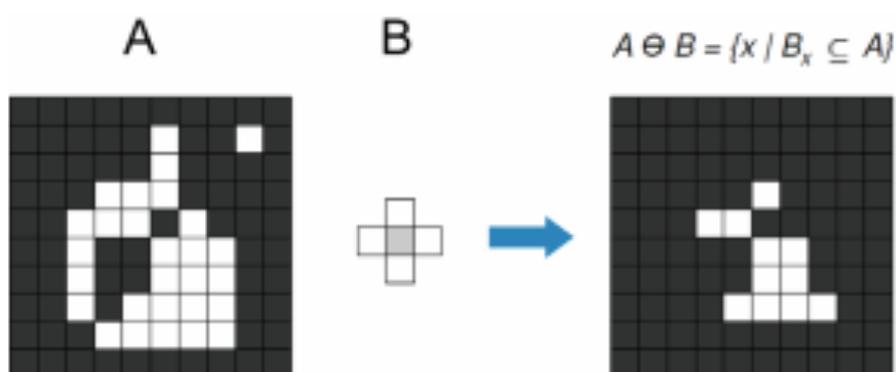


Figura 20. Ejemplo de erosión.

Por tanto, en nuestro caso, para eliminar los píxeles que no deberían estar tanto dentro como fuera de las máscaras hemos utilizado dichas operaciones. En Matlab son funciones ya existentes (“imdilate” e “imerode”).

Para los elementos puntuales interiores de la máscara:

En primer lugar, obtendremos el elemento estructural que en nuestro caso es de un tamaño que hemos obtenido mediante pruebas hasta que hemos visto que era el tamaño adecuado, este elemento estructural lo hemos logrado a través de la función “strel”, (es cuadrado), una vez adquirido el elemento estructural primero hemos dilatado la imagen de la máscara con dicho elemento y posteriormente el resultado anterior hemos procedido a erosionarlo con un elemento estructural del mismo tamaño que el anterior.

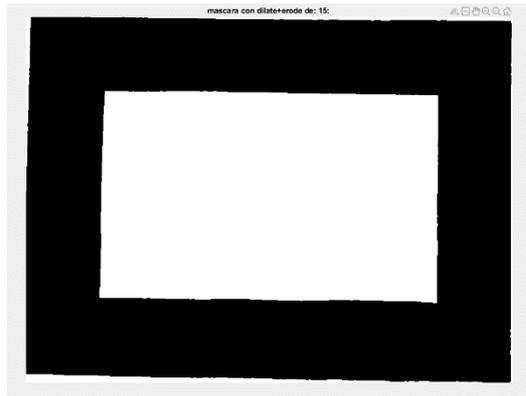


Figura 21. Dilatación + erosión parte interior imagen 22ini.

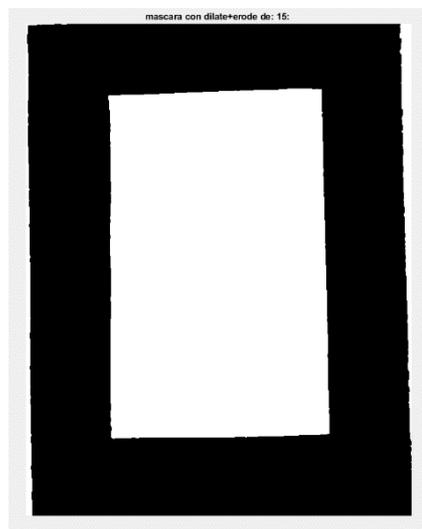


Figura 22. Dilatación + erosión parte interior imagen 40ini.

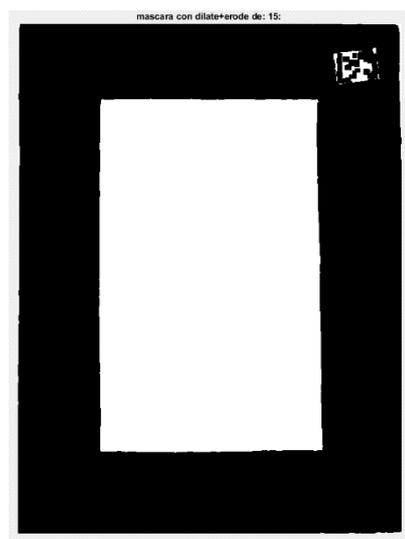
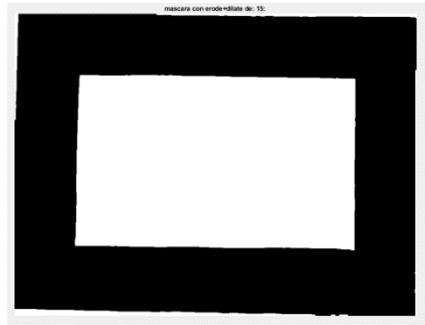


Figura 23. Dilatación + erosión parte interior imagen 36ini.

Para los elementos puntuales exteriores de la máscara:

Volveremos a obtener el elemento estructural que será del mismo tamaño que el anterior para primero erosionar la imagen obtenida de la dilatación + la erosión anterior para posteriormente dilatarla para eliminar los elementos puntuales del recuadro. En las siguientes imágenes mostraremos el resultado (erosión + dilatación) y la imagen ya con la máscara hallada.

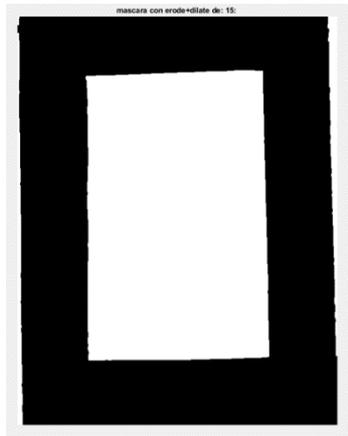


a)



b)

Figura 24. a) Erosión + dilatación parte exterior imagen 22ini. b) Imagen 22ini enmascarada.

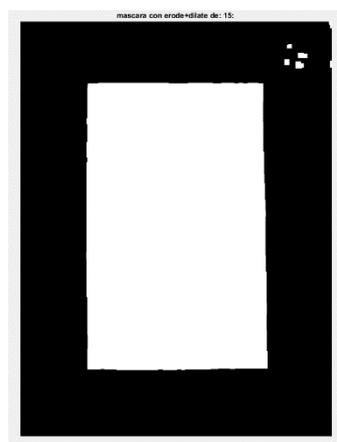


a)



b)

Figura 25. a) Erosión + dilatación parte exterior imagen 40ini. b) Imagen 40ini enmascarada.



a)



b)

Figura 26. a) Erosión + dilatación parte exterior imagen 36ini. b) Imagen 36ini enmascarada.

Como siguiente paso hemos pasado a etiquetar los objetos y obtener las propiedades de estos mediante la función de Matlab “regionprops” que proporciona la ubicación de las diferentes superficies, el centro de estas y su área.

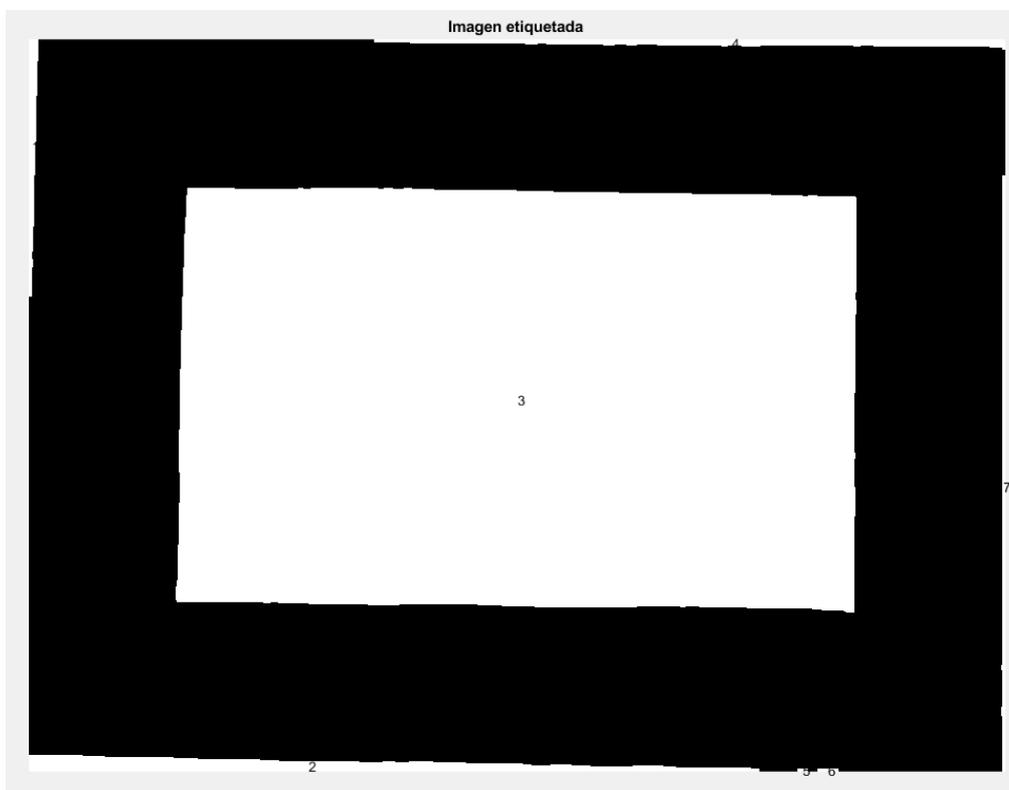


Figura 27. Imagen etiquetada.

A partir de la imagen etiquetada obtendremos la selección de la región correcta de mayor área, es decir, la región que nos interesa. Para ello utilizaremos las propiedades que anteriormente hemos obtenido con la función “regionprops”. Realizando un bucle para que encuentre el área máxima de cada una de las imágenes que es la característica que nos interesa.

Para la selección de la zona de color azul empezaremos erosionando la máscara de tono azul, donde la máscara azul es la solución a esta fórmula:

$$\text{masc_azul} = (1 - (1 - \text{mascara}) .* (1 - \text{masc_s})) .* (1 - \text{mascara}); \quad [4.2.3]$$

Donde la variable “mascara” que aparece es el resultado obtenido después de la última erosión + dilatación, y la variable “masc_s” es la máscara que hemos hallado anteriormente de la componente S.

La fórmula anterior podemos descomponerla en varias partes, la primera parte “ $1 - (1 - \text{mascara}) .* (1 - \text{masc_s})$ ” nos recuadra la plantilla azul en color negro teniendo en el fondo la imagen de la losa sin corregir. Y la segunda parte “ $(1 - \text{mascara})$ ” nos hace ver la plantilla en color azul y el fondo negro, donde la multiplicación de ambas nos hace observar la plantilla en color azul y el fondo negro.

Una vez obtenida la máscara azul hacemos la erosión de esta para recortar un poco y asegurar que no se cuelan zonas cercanas al borde con posibles sombras. Obteniendo la imagen solo con el recuadro azul multiplicando la imagen en tonos grises anterior por la máscara azul erosionada.

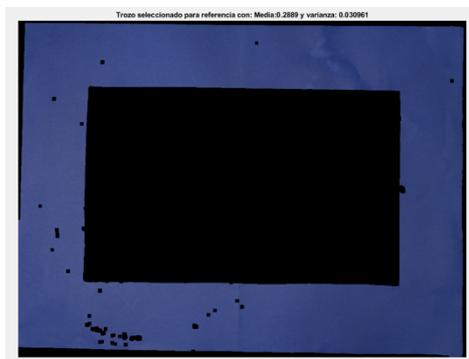


Figura 28. Plantilla azul seleccionada en imagen 22ini.

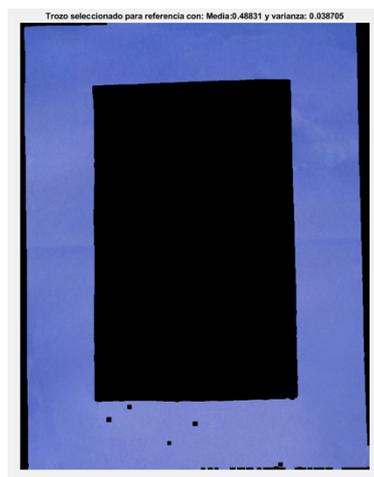


Figura 29. Plantilla azul seleccionada en imagen 40ini.

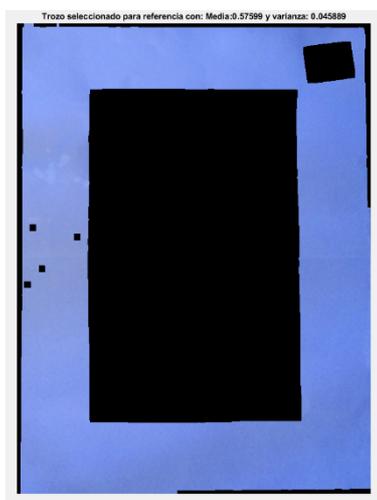


Figura 30. Plantilla azul seleccionada en imagen 36ini.

A partir de la versión de gris de esta imagen, obtendremos la luminosidad media, que nos servirá posteriormente para realizar la corrección de la iluminación.

El procesado que acabamos de desarrollar lo encontraremos dentro del programa principal que lo desarrollaremos a continuación, también podemos encontrar la función de procesado en el [ANEXO I](#) adjuntado al final del documento.

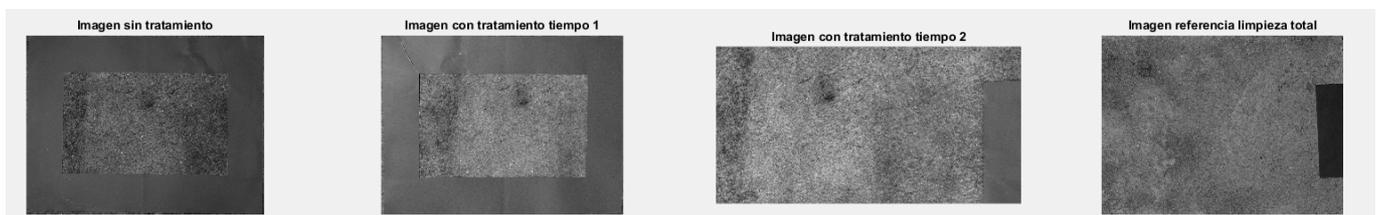
4.3. Programa principal

Dentro del programa principal como primera observación pre asignaremos algunas de las variables que vamos a utilizar, así como leeremos las imágenes que posteriormente se hará el procesado. Leeremos cuatro imágenes, la imagen de la losa inicial, es decir, sin tratamiento, la segunda será después de haber transcurrido un tiempo, la tercera después de haber transcurrido un tiempo más lejano, y la cuarta y última será una imagen de limpieza total de referencia, es decir, la losa totalmente limpia.

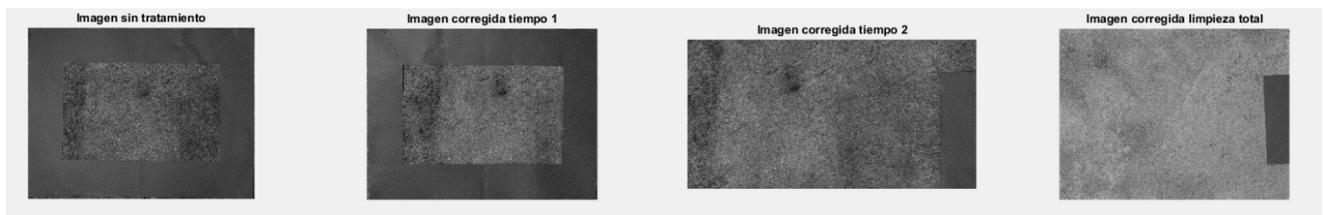
Una vez cargadas las imágenes, se hará el procesado de estas de manera individual llamando a la función de procesado de la siguiente manera:

```
%imagen inicial  
[props1,img_n1,medialum1]=Procesa61(hObject, eventdata, handles,  
img);
```

A continuación, como ya hemos obtenido la media de todas las imágenes (“medialum”), ya podemos corregir la luminosidad de dichas imágenes. En este caso la primera, la inicial o sin tratamiento, no hay que tocarle la luminosidad ya que es la imagen de referencia en cuanto a la luminosidad. El cambio de luminosidad lo obtendremos restando la media de la imagen principal o sin tratamiento con la que queremos corregir sumando a la imagen en escala de grises obtenida también en el procesado (“img_n”). Como podemos observar el objetivo es que el marco de color que anteriormente era azul tenga el mismo brillo, es decir, sea el mismo para las cuatro imágenes.

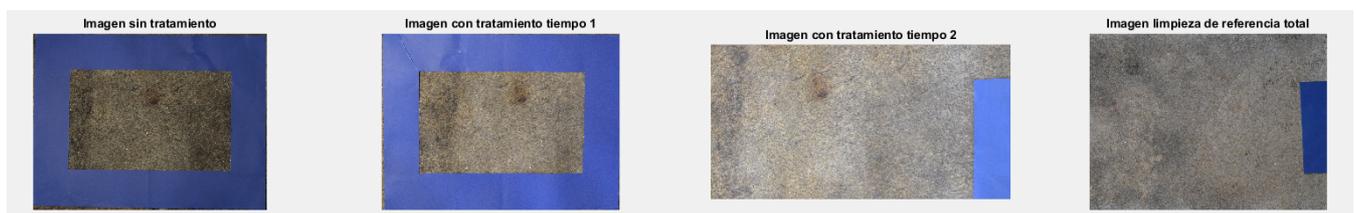


a)

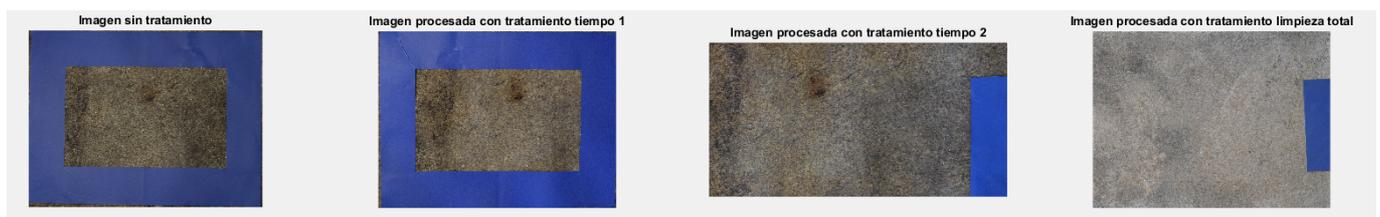


b)

Figura 31. a) Losas 22 en escala de grises. b) Losas 22 en grises y corregida la luminosidad.



a)



b)

Figura 32. a) Losas 22 en color. b) Losas 22 en color y corregida la luminosidad.



a)



b)

Figura 33. a) Losas 40 en escala de grises. b) Losas 40 en grises y corregida la luminosidad.



a)



b)

Figura 34. a) Losas 40 en color. b) Losas 40 en color y corregida la luminosidad.



a)

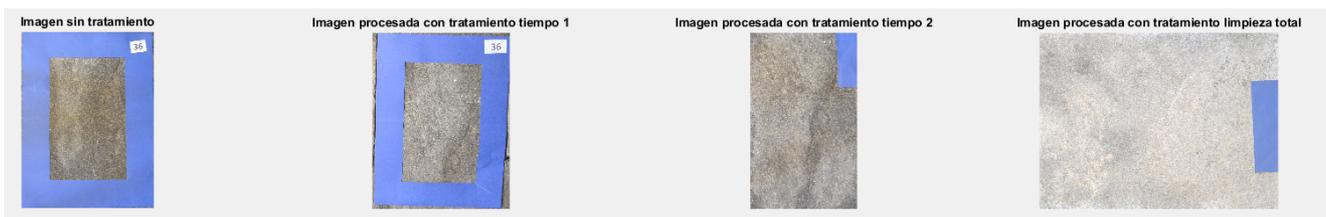


b)

Figura 35. a) Losas 36 en escala de grises. b) Losas 36 en grises y corregida la luminosidad



a)



b)

Figura 36. a) Losas 36 en color. b) Losas 36 en color y corregida la luminosidad.

A continuación, seleccionamos un número de píxeles común a cada imagen para hacer un análisis de los píxeles que pueda ser representativo y comparativo entre imágenes. Por tanto, obtenemos de la función “regionprops” las propiedades de las imágenes y buscamos el valor tanto el “eje x” como el “eje y” de las mismas. Y para no tener que rellenar píxeles lo que haremos será coger la dimensión mínima en el “eje x” de las imágenes y la dimensión mínima en el “eje y” de las imágenes.

También haremos una corrección de ancho y alto mínimo para eliminar sombras dentro de los recuadros, por tanto, la nueva dimensión de los “ejes x” e “eje y” es el redondeo hacia abajo de la multiplicación de la dimensión de x o la dimensión de y, con la reducción que en nuestro caso la hemos reducido un 20%, es decir, lo hemos multiplicado por 0,8.

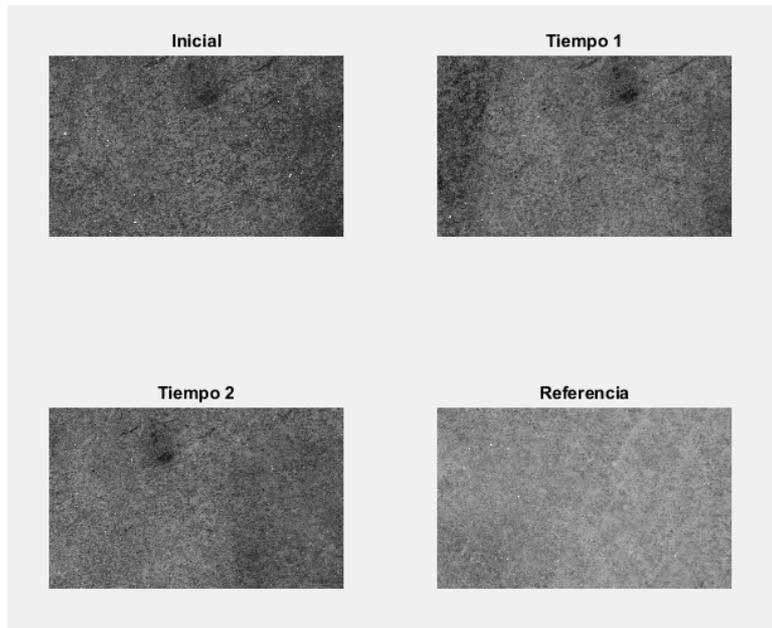


Figura 37. Losas 22 corregidas y recortadas.

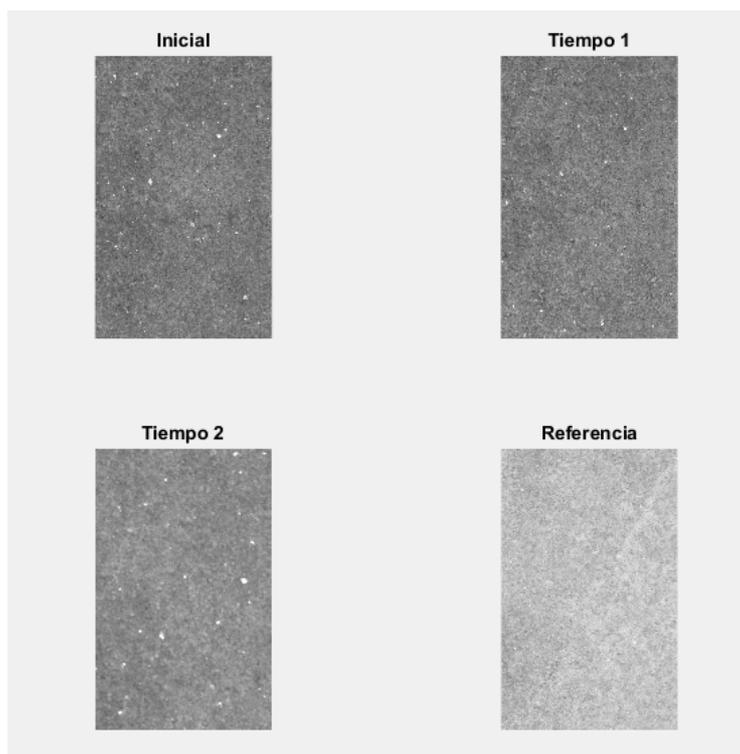


Figura 38. Losas 40 corregidas y recortadas.

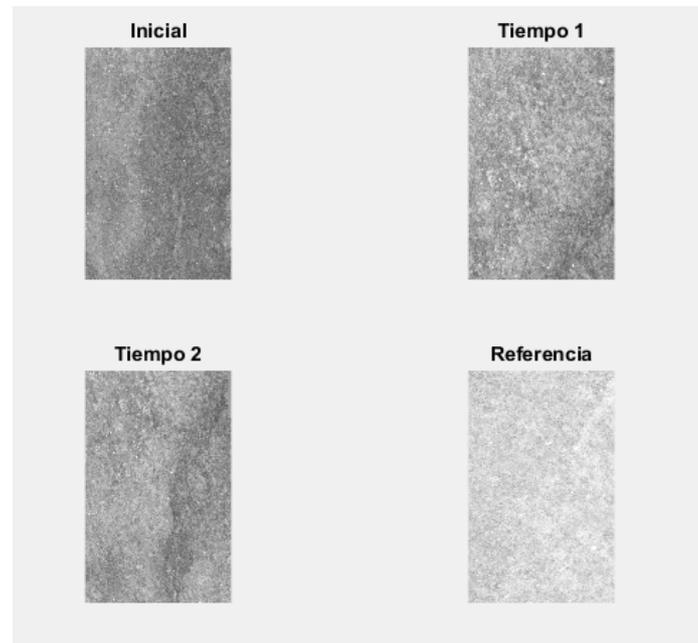


Figura 39. Losas 36 corregidas y recortadas.

Hasta aquí llega la función de procesado, en el siguiente apartado indagaremos en la interfaz y en las representaciones que nos han hecho falta para observar el proceso de las losas en el tiempo. Finalmente comentaremos los resultados obtenidos en un apartado diferente.

4.4. Interfaz de usuario

En cuanto a la interfaz de usuario es donde se produce las interacciones entre el ser humano y la máquina. El objetivo de esta es facilitar al usuario el control del programa de manera eficiente y agradable.

En este Trabajo Fin de Grado hemos realizado dos interfaces diferentes en el entorno de GUIDE, en Matlab, donde su función es optimizar una tarea. GUIDE incorpora controles como menús, barra de herramientas, botones, controles deslizantes... así como representaciones de tablas o axes para las representaciones tanto de gráficas como de imágenes.

En la **primera interfaz** se compara una misma losa a lo largo del tiempo (la losa sin tratamiento, en el tiempo 1, en el tiempo 2 y con limpieza total), esta interfaz guarda en un archivo “.mat” los datos necesarios para posteriormente en la **segunda interfaz** leerlos y poder comparar dichos datos de diferentes losas en los mismos periodos de tiempo.

Empezaremos desarrollando la **primera interfaz** la cual está dividida en cuatro regiones como vemos a continuación en la *Figura 40*.



Figura 40. Primera pantalla interfaz 1.

La primera región la podemos observar en la primera fila, *Figura 40*, donde la podemos ver destacada en color morado. En primer lugar, observamos cuatro botones, “Cargar imagen”, los cuales al pulsar se desplegará una ventana como la siguiente, *Figura 41*, para seleccionar la imagen deseada.

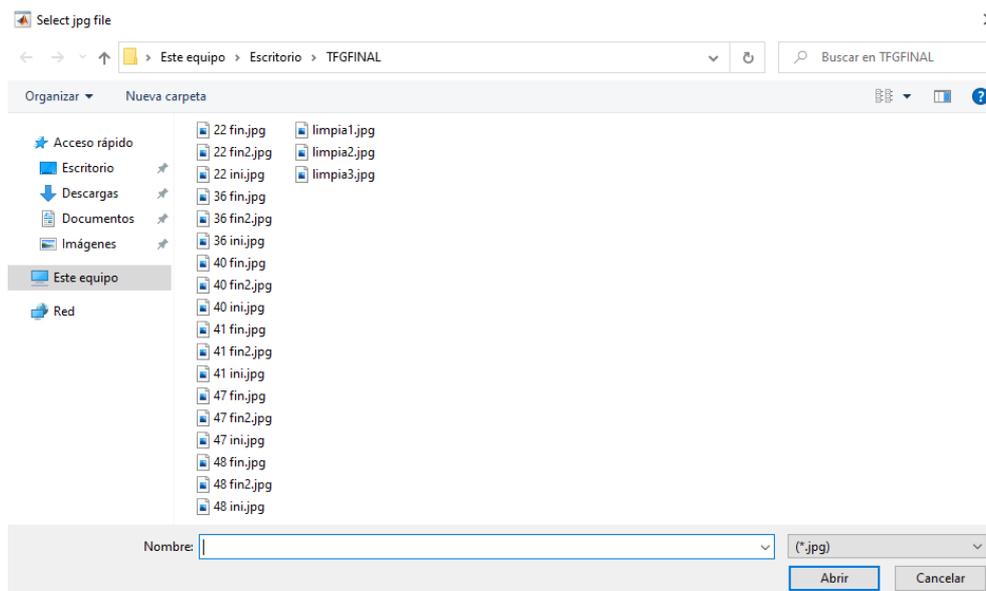


Figura 41. Selección de imagen.

Una vez seleccionada la imagen y dándole a abrir la imagen será cargada en el axes superior al botón, es decir, para cargar las cuatro imágenes se deberá realizar este proceso cuatro veces para los cuatro botones. A continuación, podremos observar el resultado de cargar las cuatro imágenes. Estas imágenes se cargarán en color, es decir, como hemos hecho la fotografía.



Figura 42. Imagen región 1 color.

Como podemos observar también en la *Figura 40*, a la izquierda hay dos botones más, Color y B/N, con los cuales, una vez cargadas las imágenes, el usuario tendrá la posibilidad de representar las imágenes o en color como se cargan o en escala de grises como podemos observar en la *Figura 43*.

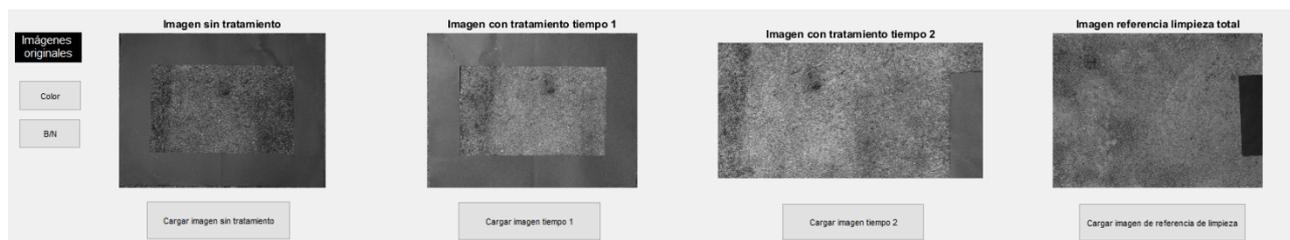


Figura 43. Imagen región 1 escala de grises.

La segunda región es muy similar a la anterior, observaremos otra fila con cuatro axes, que una vez seleccionado el botón de analizar el cual utilizaremos para que realice el programa principal obtendremos en esos axes las imágenes en escala de grises, pero con la iluminación ya corregida, *Figura 45*, de esta manera se podrán comparar con las originales cargadas anteriormente en la región anterior, y a la izquierda de estos encontraremos otros botones de color y B/N que tendrán la misma función que lo citados anteriormente, para que se puedan observar dichas imágenes como el usuario más lo desee y perciba mejor la diferencia en la iluminación.



Figura 44. Imagen región 2 color.

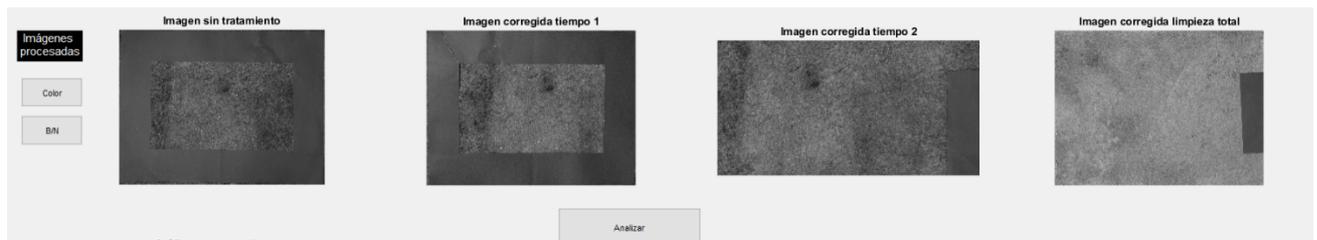


Figura 45. Imagen región 2 escala de grises.

En la tercera región pasamos a las gráficas. En el axes de la izquierda se observará la gráfica de bigotes de la mediana, que observaremos como evoluciona con el paso del tiempo. Esta gráfica es fija, es decir, una vez presionamos el botón de “Analizar” se dibuja sin más preámbulos. Una vez se haya representado el gráfico al lado derecho de este aparecerán los valores medios de dichas medianas.

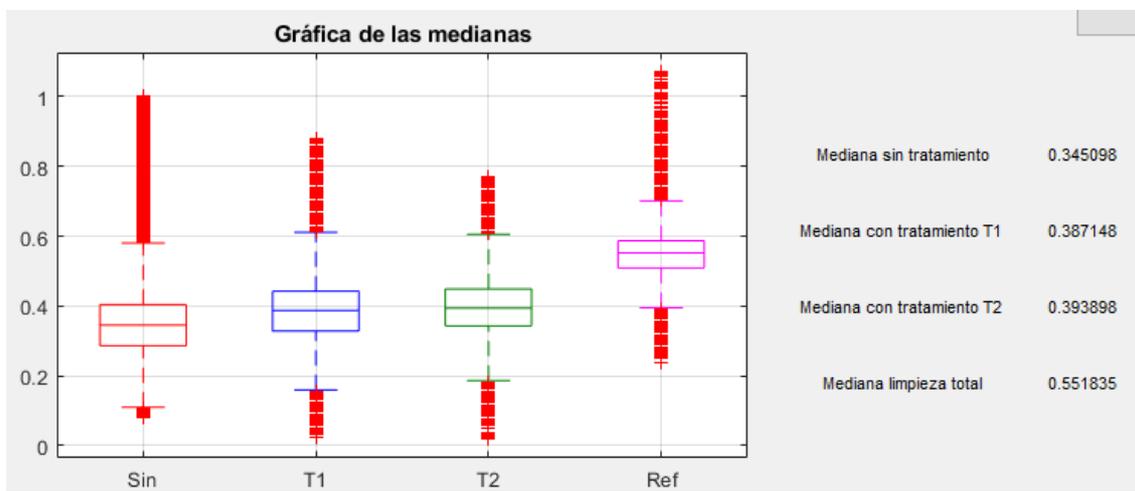


Figura 46. Gráfica medianas.

Más a la derecha observaremos dos botones más los cuales depende el que presiones podrán aparecer dos gráficas diferentes. En primer lugar, en el botón de “Restando la mediana” se representará el mismo diagrama de bigotes anterior, pero restándole la mediana de la losa sin tratamiento para poder observar mejor como varía (Figura 47).

Y para el otro botón, “Porcentaje de limpieza”, observaremos otro diagrama de bigotes, pero representando el porcentaje que ha variado teniendo en cuenta que la losa sin tratamiento es un 0% de porcentaje de limpieza y la losa de referencia de limpieza que es la última que seleccionamos es el 100% de dicho porcentaje (Figura 48).

Así pues, al lado derechos de dichos botones hay un axes donde estarán representados ambos botones.

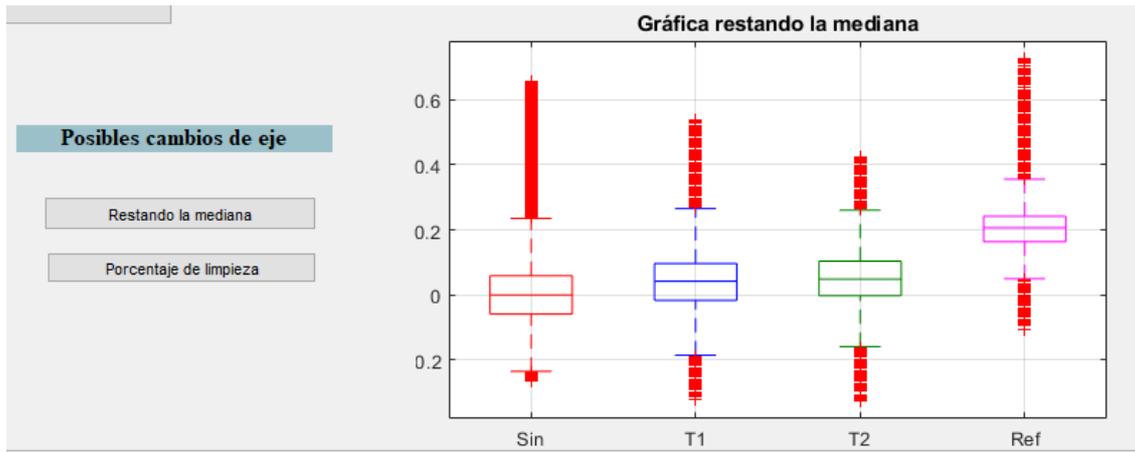


Figura 47. Gráfica restando la mediana.

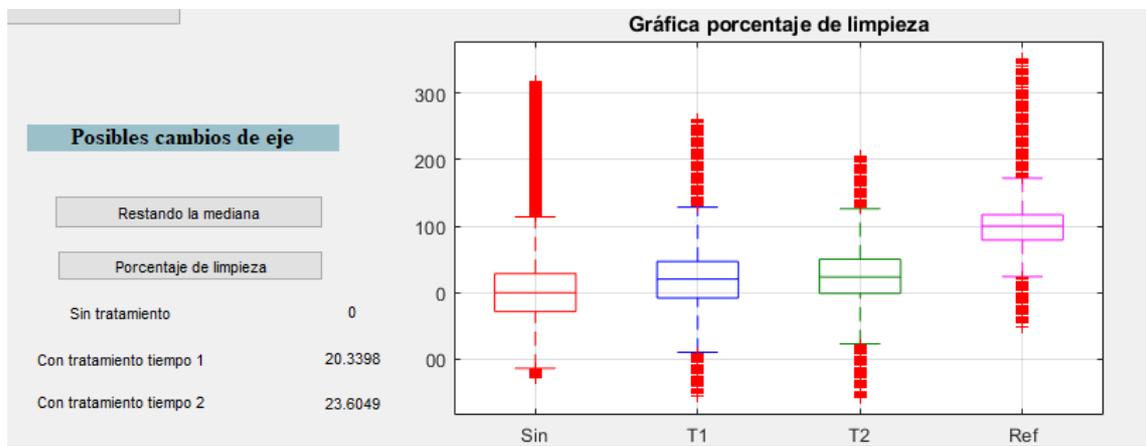


Figura 48. Gráfica porcentaje de limpieza.

Y para concluir las regiones, observaremos una cuarta región que es el botón de guardado de los elementos más significativos. En este caso los elementos significativos son los datos de las gráficas, es decir, los datos de las medianas, los datos del diagrama de bigotes de la resta y los datos de los porcentajes obtenidos (Figura 50), que en la otra interfaz serán cargados para comparar diferentes losas. En la Figura 49 observamos como se guardan dichos datos.

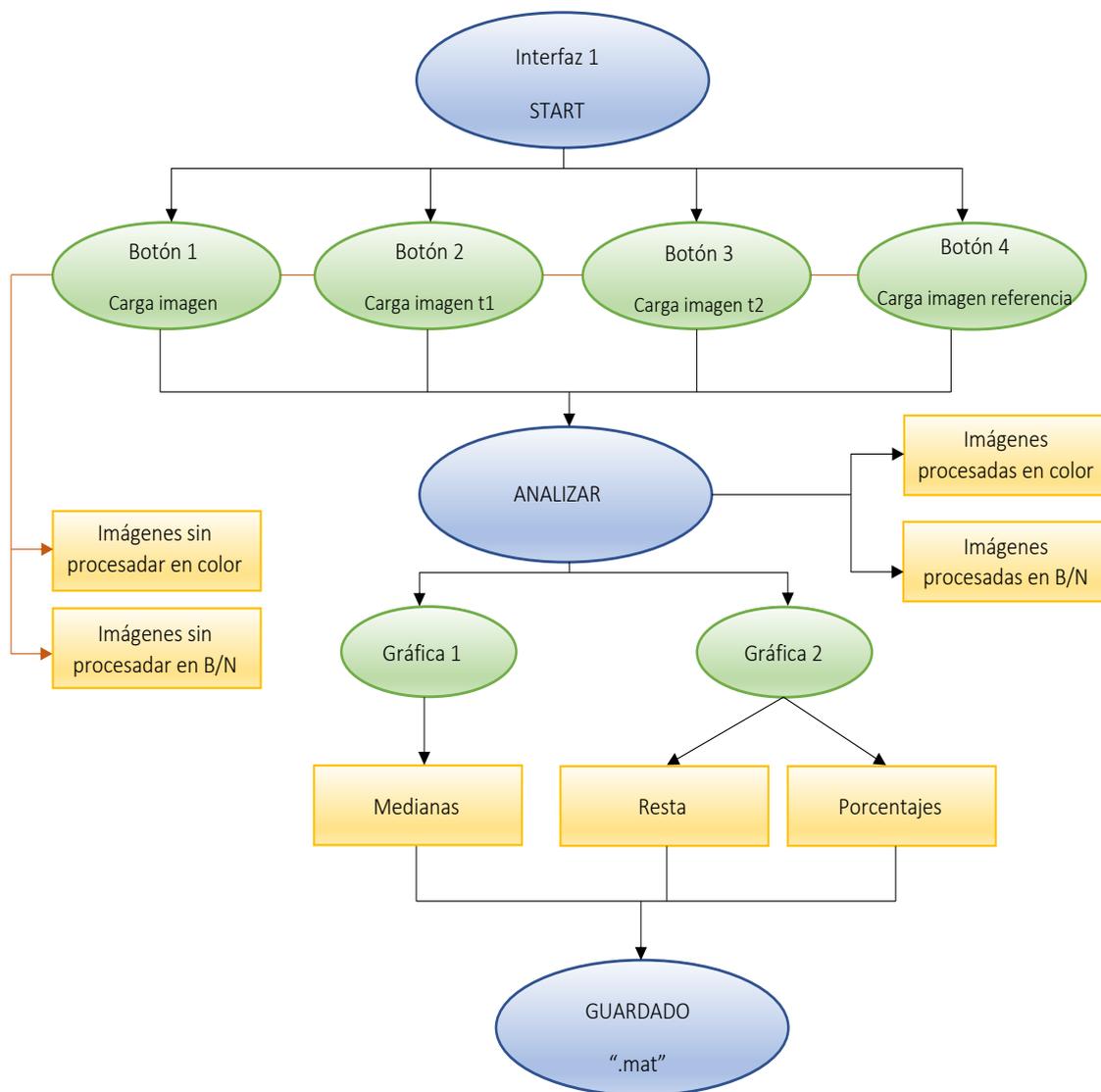
Losas22.mat	07/06/2021 13:13	MATLAB Data	24.592 KB
Losas40.mat	25/05/2021 12:03	MATLAB Data	21.060 KB
Losas41.mat	25/05/2021 12:02	MATLAB Data	18.139 KB

Figura 49. Archivos guardados.

DatosMediana	1061910x4 double
DatosResta	1061910x4 double
DatosPorcentajes	1061910x4 double
Nombre	'Losas22.mat'

Figura 50. Datos significativos.

A continuación, a modo de resumen, observaremos el flujograma de la primera interfaz.



Flujograma 1. Interfaz 1.

La **segunda interfaz** es mucho más sencilla que la primera. Esta interfaz tiene como objetivo comparar distintas losas. También la vamos a dividir por regiones, pero en este caso solo diferenciamos dos que como observamos están recuadradas con diferentes colores en la siguiente imagen.



Figura 51. Pantalla principal interfaz 2.

La región uno se encargará de seleccionar y cargar los archivos deseados. Una vez pulsado el botón aparecerá la ventana de la *Figura 52*, tres veces para que se puedan seleccionar tres archivos distintos. Los archivos que se podrán seleccionar son solo archivos “.mat”. Una vez seleccionados los nombres de estos archivos estarán escritos en distintos colores justo debajo del botón, estos colores serán los mismos que aparecerán para cada uno en las distintas representaciones.

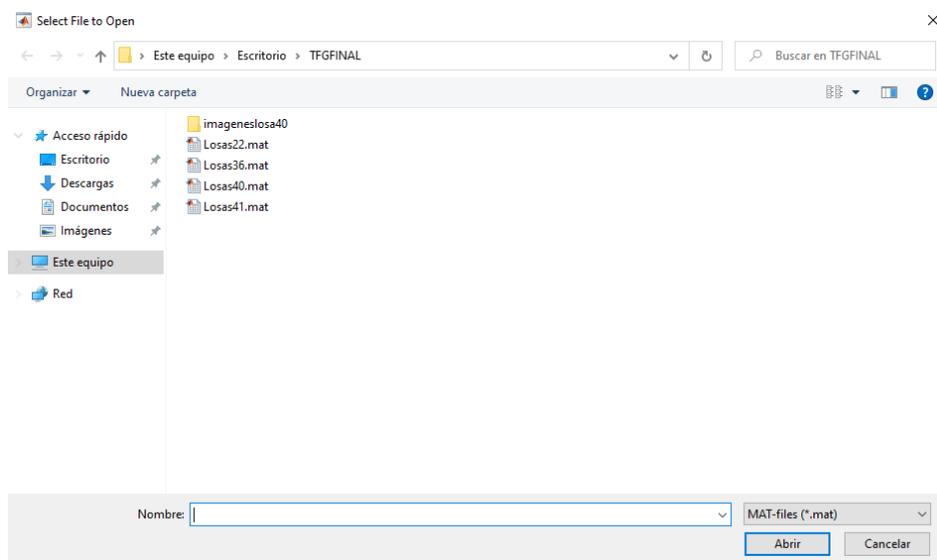


Figura 52. Ventana para cargar los archivos.

Para la segunda región señalada en amarillo en la *Figura 51*, representará las mismas gráficas que en la primera interfaz, pero con los datos de distintas losas. Pulsando el botón de representar se cargarán los datos de los archivos seleccionados, estos datos serán las variables de datos medianas, datos restando la media y datos de los porcentajes de limpieza, y serán representadas en tres gráficas de bigotes distintas. Como podemos observar, la losa 22 está representada en verde como bien indica el color del nombre de los archivos, la losa 36 en azul y la losa 40 en rosa como decíamos anteriormente (distinto archivo, distinto color de representación).

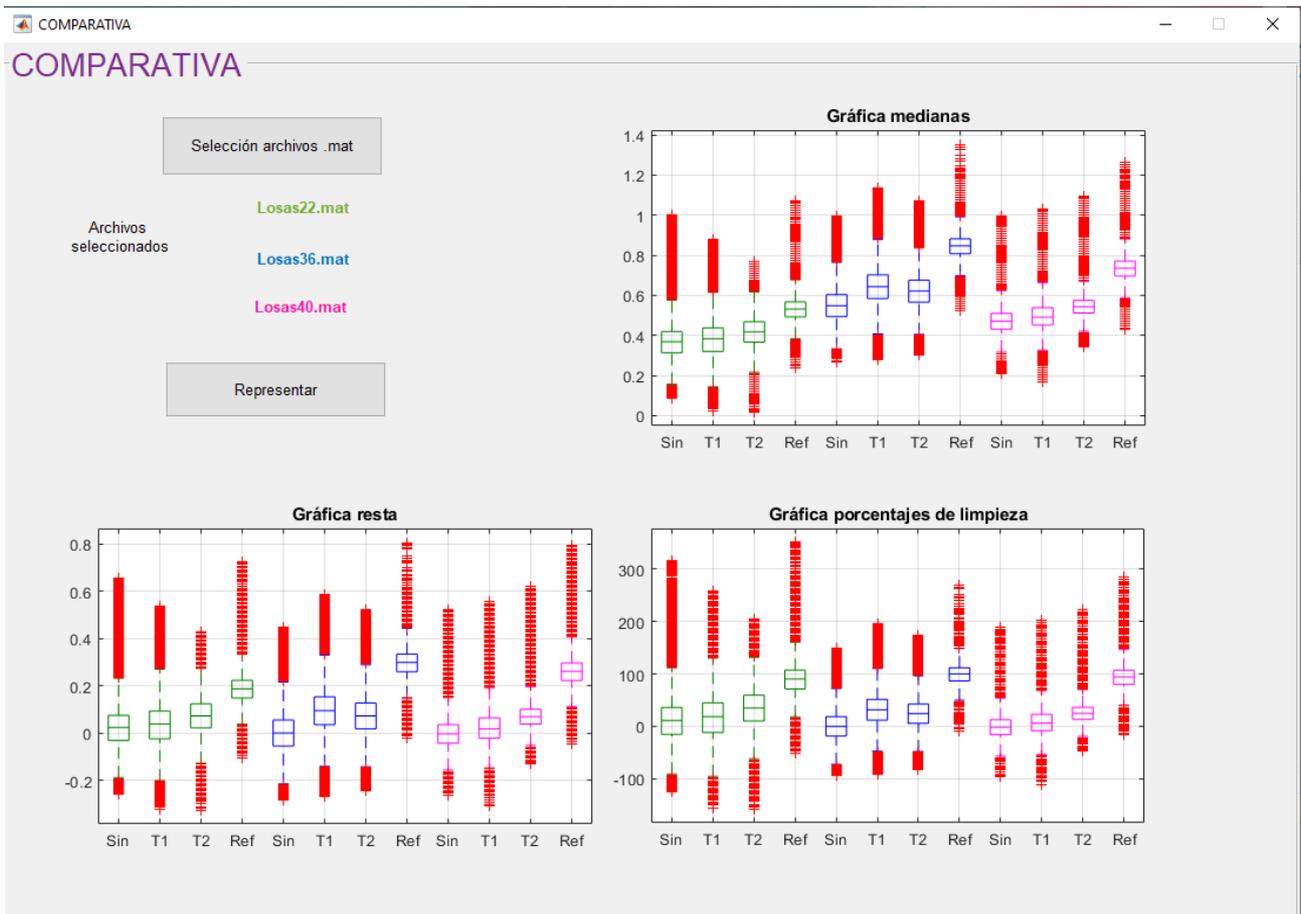
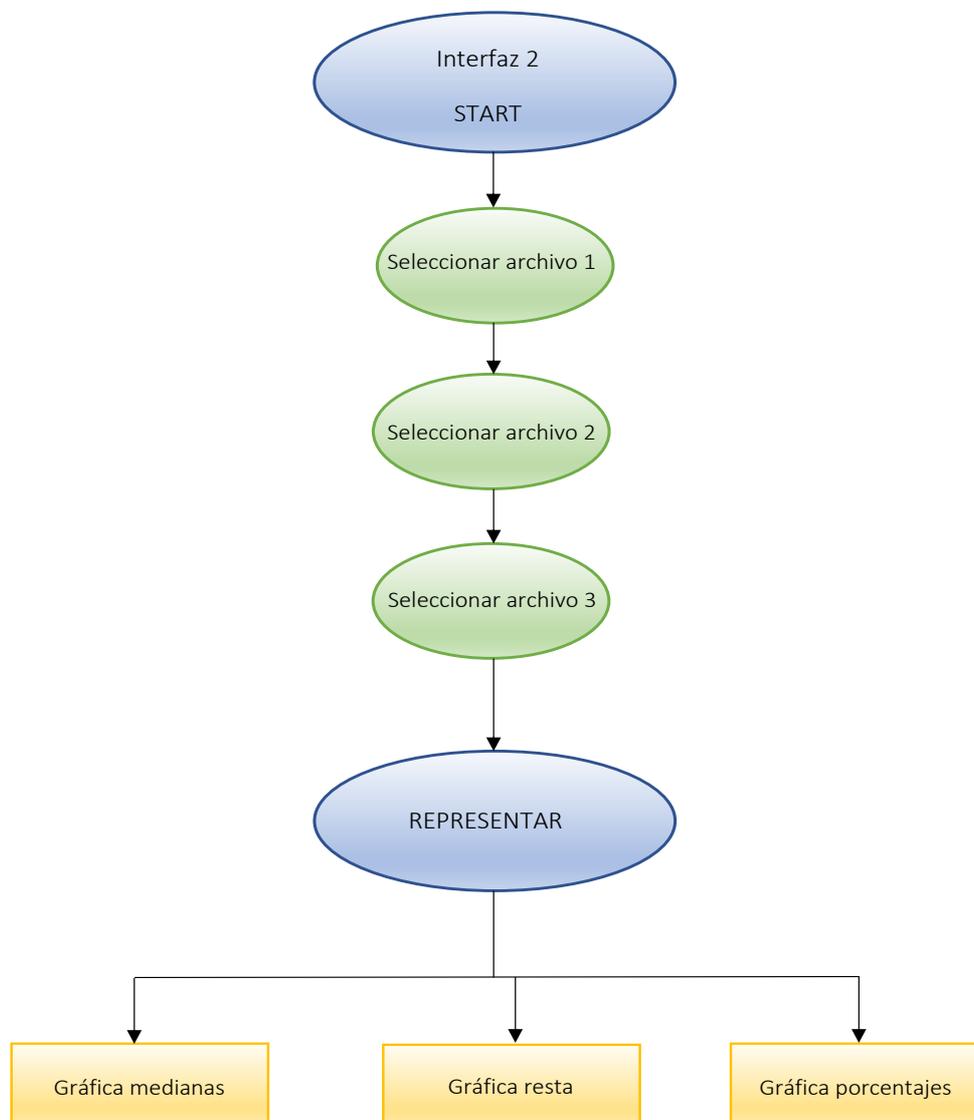


Figura 53. Segunda interfaz completa comparando las losas 22, 36 y 40.

Para la segunda interfaz, hemos obtenido también su flujograma:



Flujograma 2. Interfaz 2.

En el próximo apartado desglosaremos los resultados obtenidos de procesar y analizar dos losas diferentes.

4.5. Resultados

Parte de los resultados se han ido observando a lo largo de los apartados anteriores para ilustrar las diferentes fases del procesado, pero a continuación los expondremos de formas más detallada y precisa. Analizaremos la losa 40 y la 36 con más detenimiento y a lo largo del tiempo.

En secciones previas hemos observado todo el procesado de las losas 22, 40 y 36 sin tratamiento, es decir, la imagen inicial de dichas losas. A continuación, nos centraremos en la losa 40 pero observándola a lo largo del tiempo, examinaremos la losa 40 inicial, en el tiempo 1, en el tiempo 2 y la compararemos con una losa de limpieza total. Así observaremos como ha cambiado la losa con el tratamiento utilizado en ella, y a continuación haremos lo mismo con la losa 36 para observar que todos los resultados no son siempre satisfactorios.

Para compararlas en la segunda interfaz también obtendremos los datos de la losa 22, aunque no se muestra todo el proceso veremos que son algo similares a las de la losa 40.

4.5.1 Resultados de la losa 40

Para comenzar a analizar cargaremos en el programa las imágenes siguientes:

40 fin.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	985 KB
40 fin2.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	852 KB
40 ini.jpg	21/09/2020 9:13	Archivo JPG	934 KB
limpia1.jpg	27/04/2020 20:01	Archivo JPG	1.668 KB

Figura 54. Archivos.

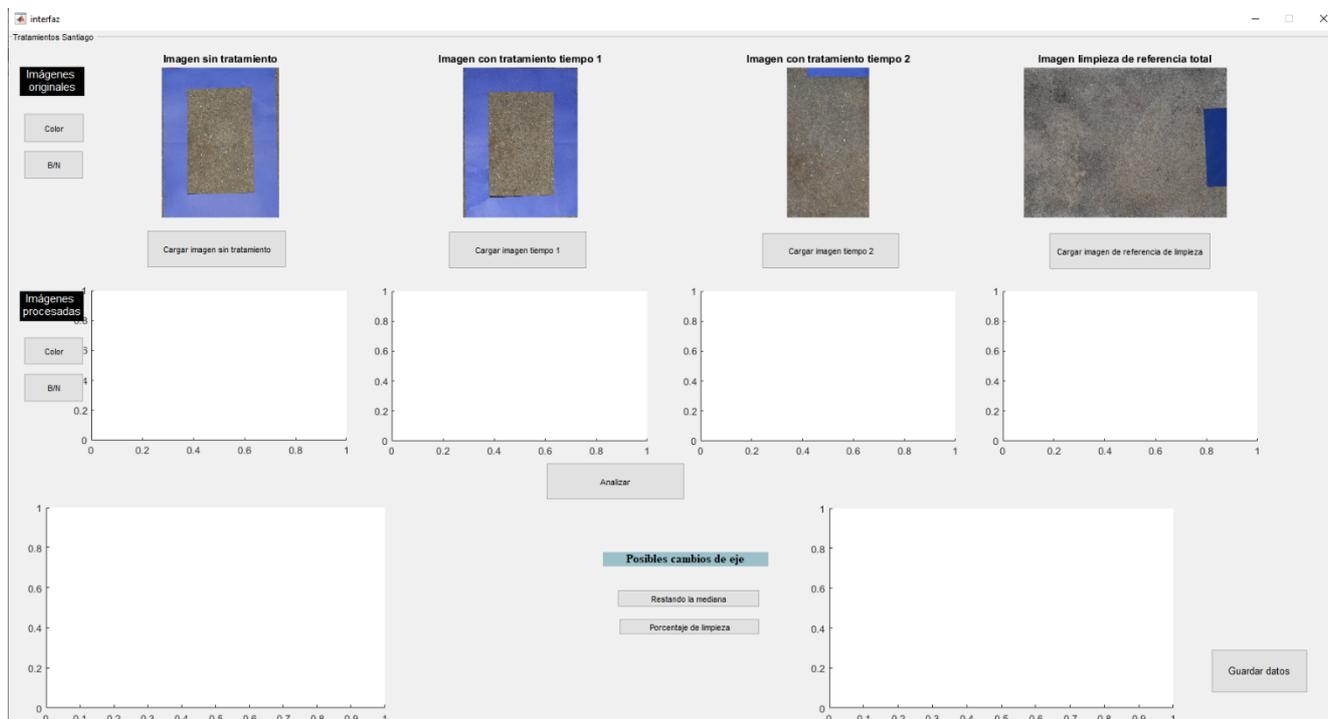


Figura 55. Interfaz con archivos seleccionados.

Una vez cargadas y mostradas en la interfaz como podemos observar en la *Figura 55*, pulsaremos la opción de analizar. Al analizar lo primero que hace el programa es entrar en el programa principal, el cual lee las imágenes seleccionadas y como primera acción, llama a la función de procesado para todas las imágenes y pasar a procesarlas.

Ya hemos entrado en el procesado, así pues, la descomposición del modelo HSV para dichas imágenes queda de la siguiente manera:

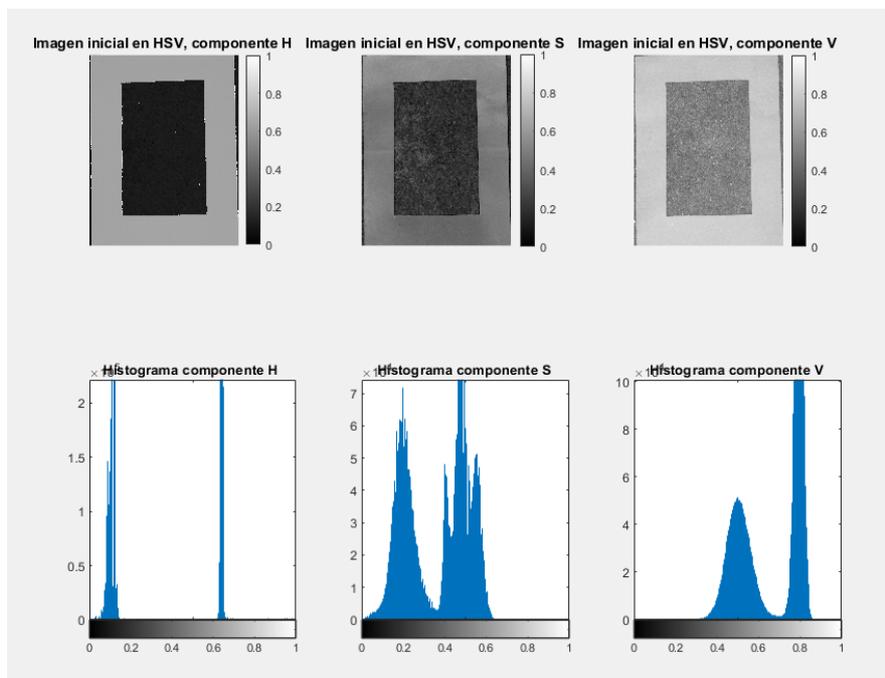


Figura 56. Descomposición HSV losa 40ini.

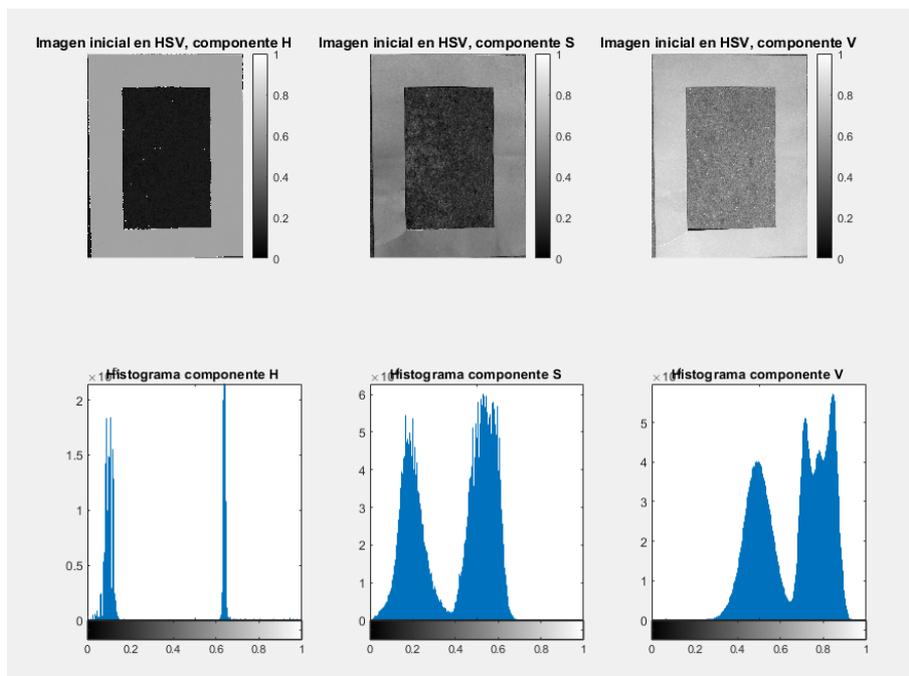


Figura 57. Descomposición HSV losa 40fin.

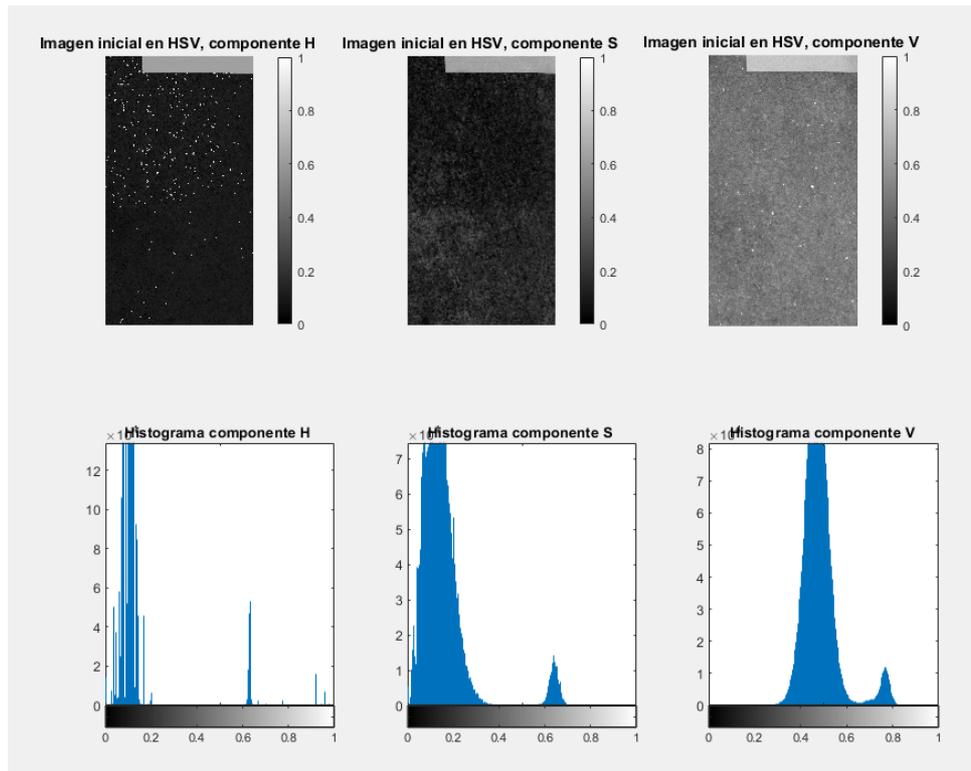


Figura 58. Descomposición HSV losa 40fin2.

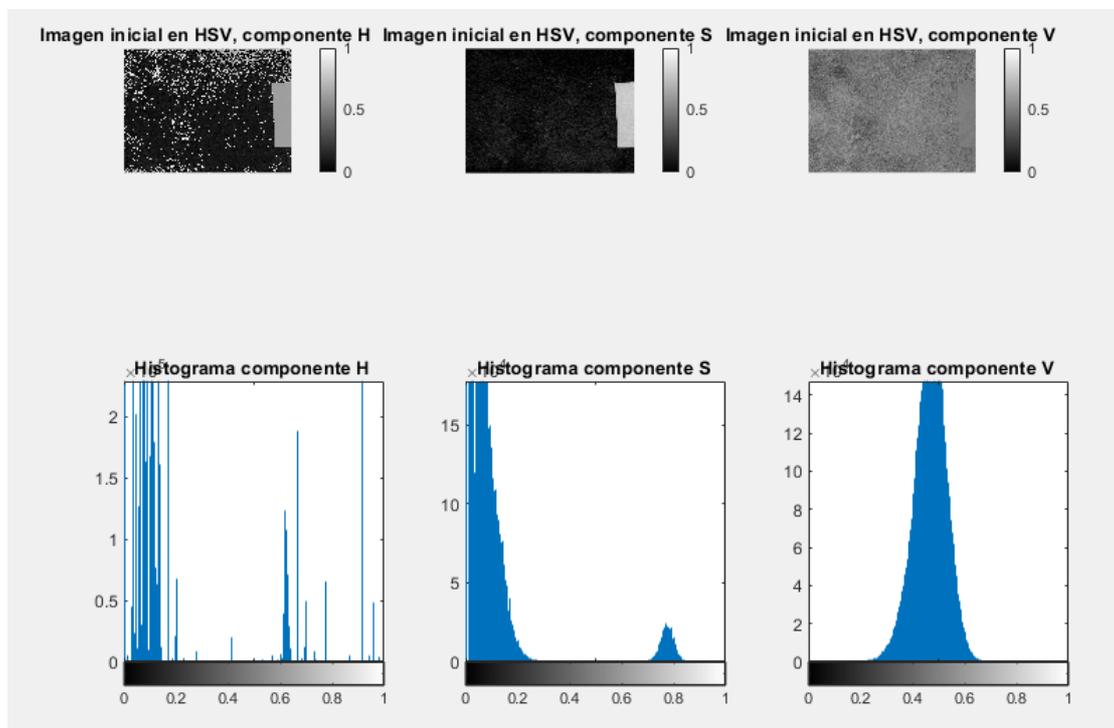


Figura 59. Descomposición HSV losa limpia1.

Observando la *Figura 56*, la *Figura 57*, la *Figura 58* y la *Figura 59*, percibimos que deben tener valores muy parecidos para las diferentes imágenes, y por tanto eligiendo los umbrales del Otsu serán muy parecidos también. Estos serán umbrales tanto para la componente H como para la componente S.

umbral_inf_h = 0	umbral_inf_h = 0	umbral_inf_h = 0	umbral_inf_h = 0
umbral_sup_h = 0.3902	umbral_sup_h = 0.3765	umbral_sup_h = 0.3765	umbral_sup_h = 0.4255
umbral_s = 0.3451	umbral_s = 0.3608	umbral_s = 0.3843	umbral_s = 0.4196
a)	b)	c)	d)

Figura 60. a) Umbral 40ini. b) Umbral 40fin. c) Umbral 40fin2. d) Umbral limpia1.

Después de hallar los umbrales obtendremos las máscaras que mediante los procesos de erosión y dilatación nos servirán para eliminar los elementos espúeros tanto en el interior de la máscara como en el exterior. Etiquetaremos las diferentes áreas de las imágenes y obtendremos sus propiedades. A continuación, nos interesa hallar la máscara azul que va a ser nuestro elemento de referencia para posteriormente corregir la luminosidad de las imágenes. Obtendremos la mediana que nos servirá para corregir las imágenes y después compararlas con las mismas características, como se explicó en el apartado 4.2 de esta memoria.

Así pues, obtendremos ahora las imágenes ya corregidas la luminosidad:

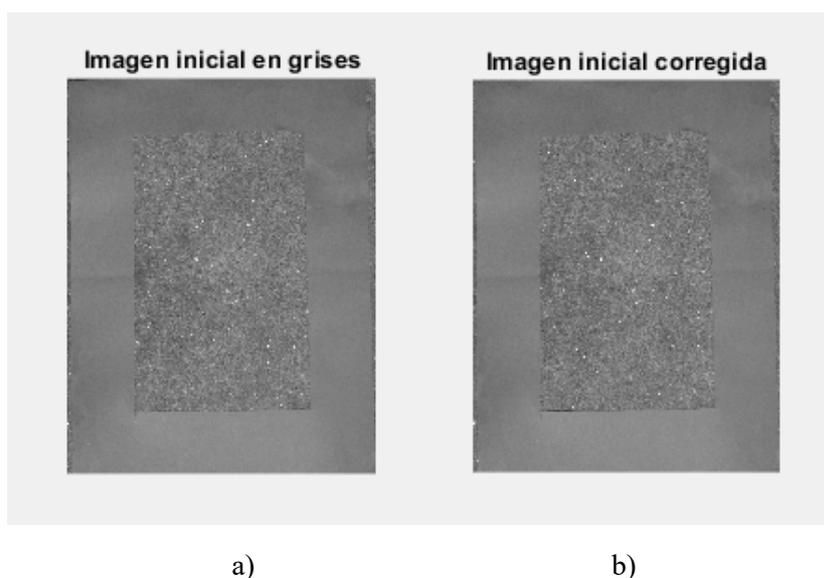
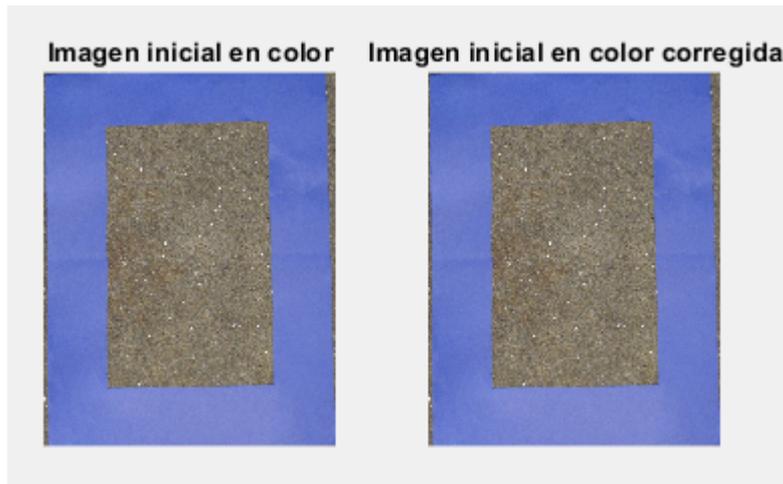


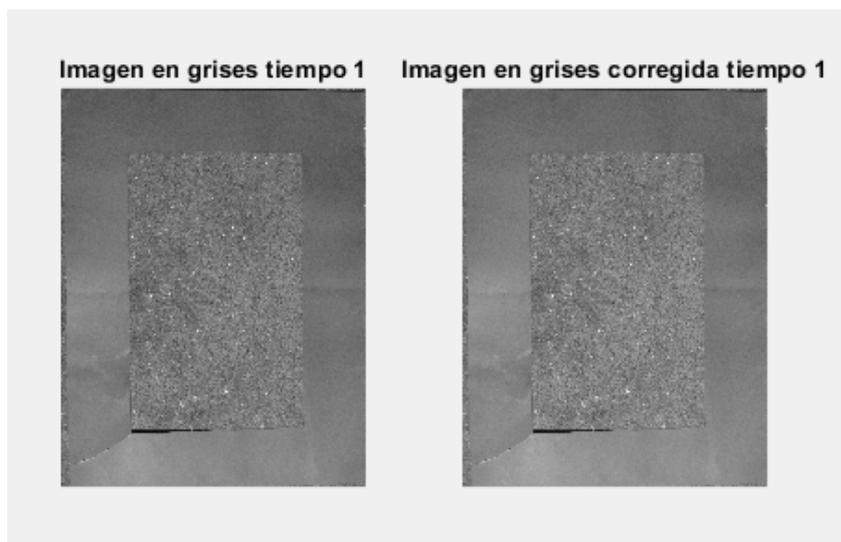
Figura 61. Imagen 40ini en grises a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

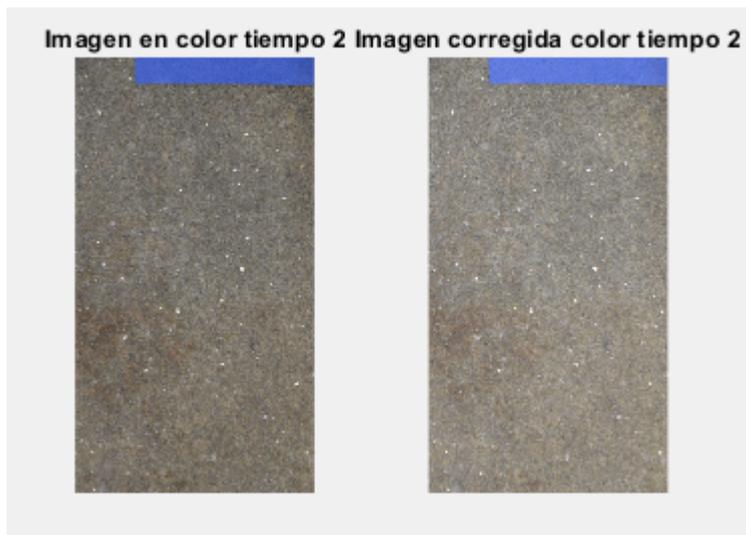
Figura 62. Imagen 40ini en color a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

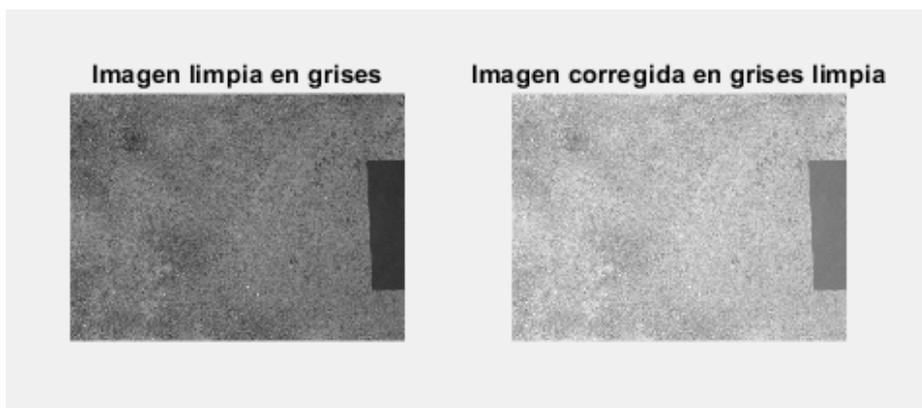
Figura 63. Imagen 40fin en grises a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

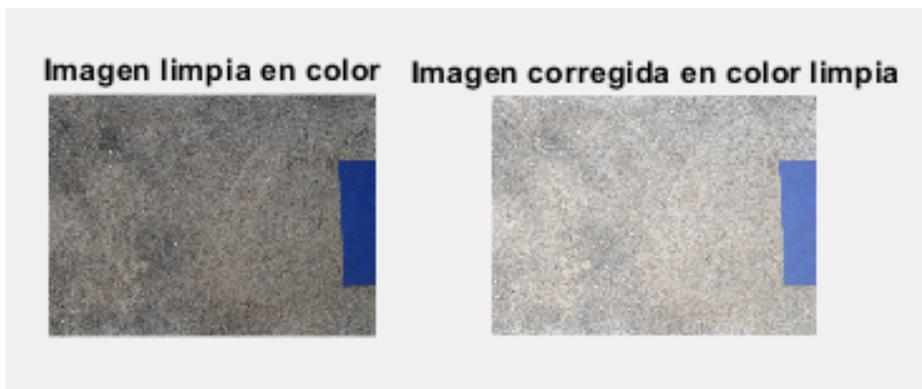
Figura 66. Imagen 40fin2 en color a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

Figura 67. Imagen limpia1 en grises a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

Figura 68. Imagen limpia1 en color a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.

Podemos observar de forma bastante clara la diferencia entre ambas imágenes. La imagen inicial no está corregida ya que es la imagen que utilizamos como iluminación de referencia, pero en cuanto a las demás observamos un cambio importante. Esto lo observamos también en las gráficas que se dibujan en la interfaz.

La primera gráfica que observamos podemos contemplar la mediana cada una de las imágenes, *Figura 69*. Al lado derecho la media de las medianas obtenidas, ya que dichas medianas son vectores, y estos vectores los representamos en un diagrama de bigotes.

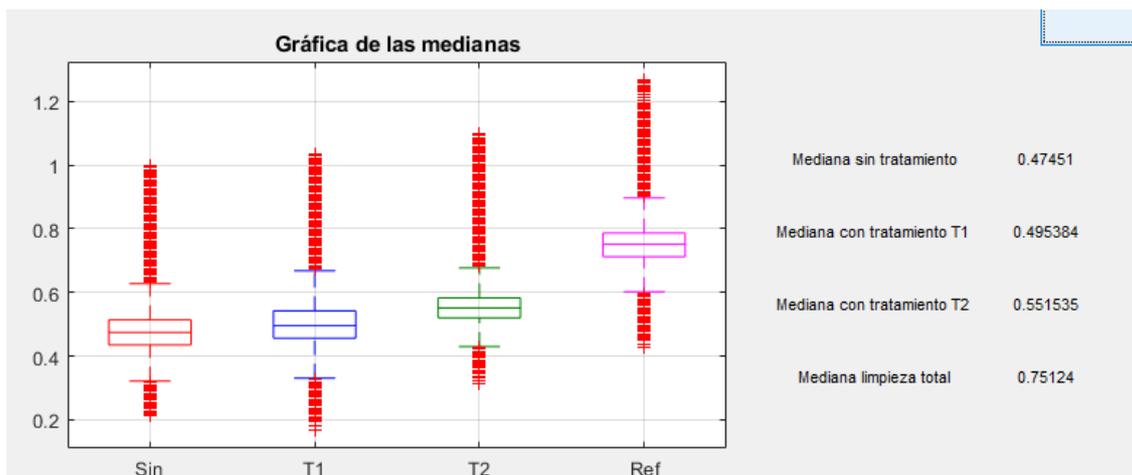


Figura 69. Gráfica medianas losa 40.

Para la gráfica de la resta, como se he explicado en el apartado 4.4 anterior, se representa la resta de las medianas anteriores restadas con la mediana de la losa sin tratamiento, representa, por tanto, la variación de la luminosidad entre las diferentes imágenes. La primera no varía porque es la de referencia y no cambia, pero en las demás si podemos observar estas variaciones, en la siguiente figura.

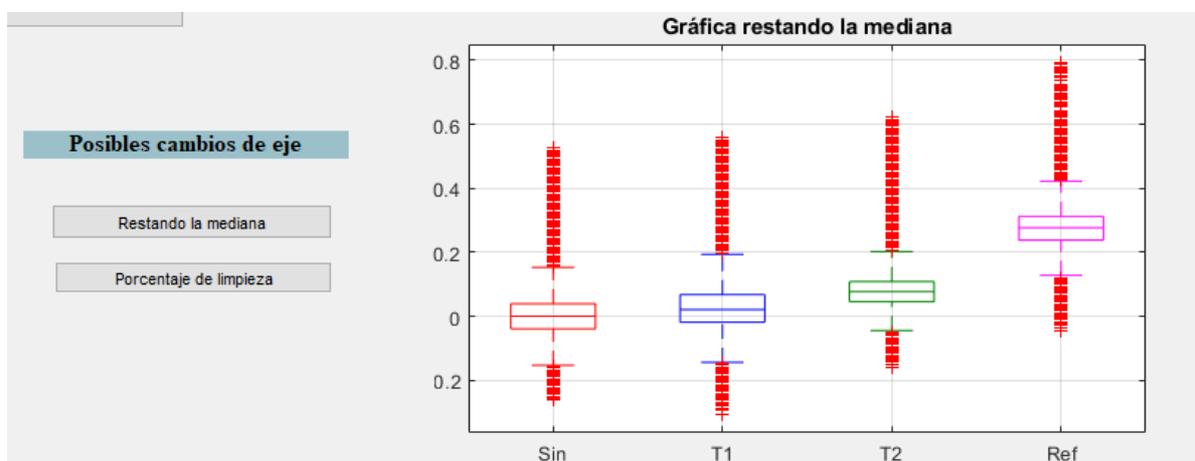


Figura 70. Gráfica restando la mediana losa 40.

En cuanto a la gráfica de porcentaje de limpieza podemos observar el siguiente resultado, es decir, cuánto mejora respecto a la imagen sin tratamiento teniendo en cuenta que la limpieza máxima es la última imagen seleccionada.

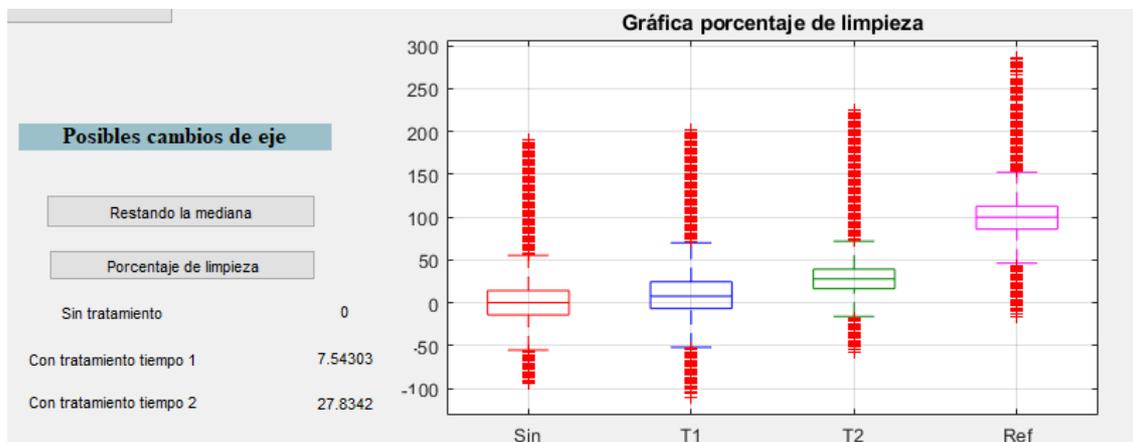


Figura 71. Gráfica porcentaje de limpieza losa 40.

Podemos observar, como en las gráficas anteriores, que el tratamiento utilizado mejora la limpieza de esta losa en un 10% y un 30% respectivamente.

Notamos que las gráficas son ascendentes, que tanto la mediana, como la resta como el porcentaje de limpieza mejora, es decir, el tratamiento funciona correctamente y es un resultado satisfactorio.

4.5.2 Resultados de la losa 36

No todas las losas tienen un resultado como el anterior. Por ejemplo, en el caso de la losa 36, que vamos a analizar a continuación, observaremos algunas diferencias.

Primeramente, cargaremos las imágenes en el programa:

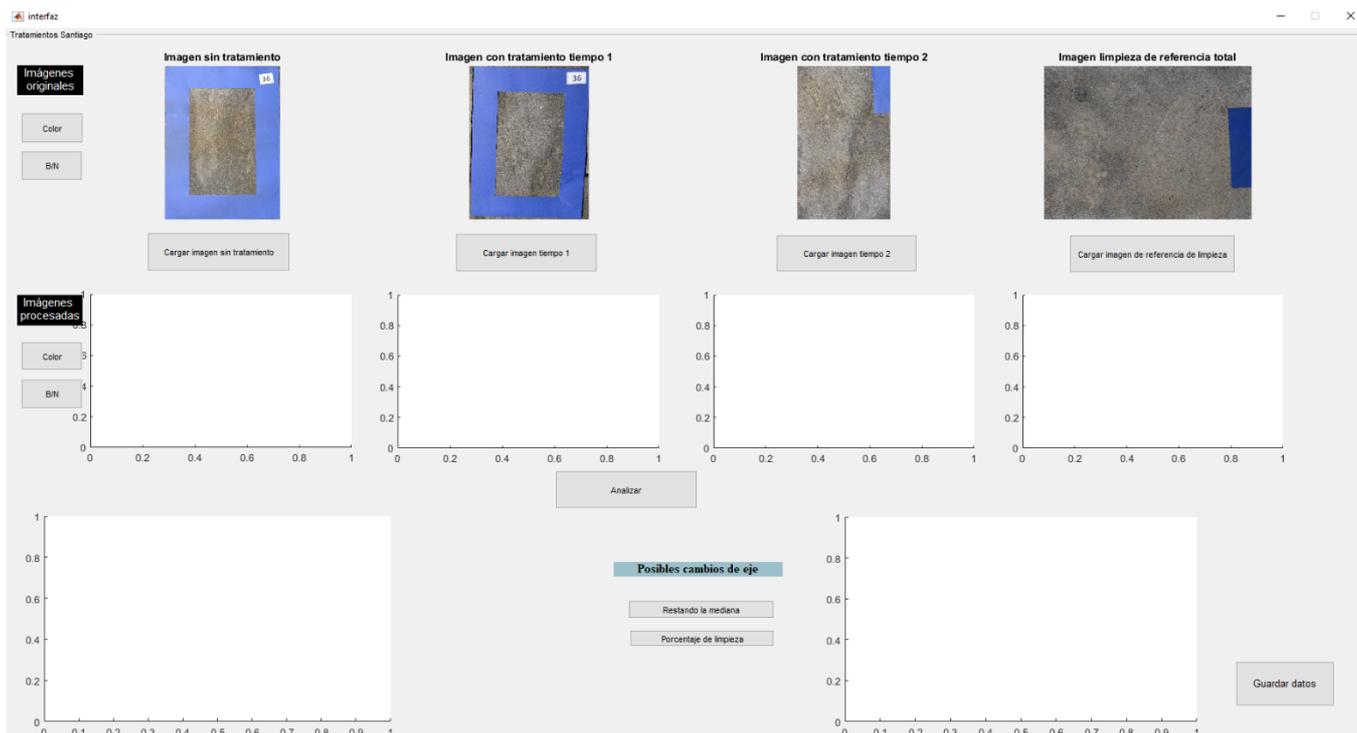


Figura 72. Interfaz con archivos seleccionados.

Dándole a analizar observaremos las componentes del modelo HSV, que como en la losa anterior podemos observar que también son muy parecidos entre sí y a la losa anterior.

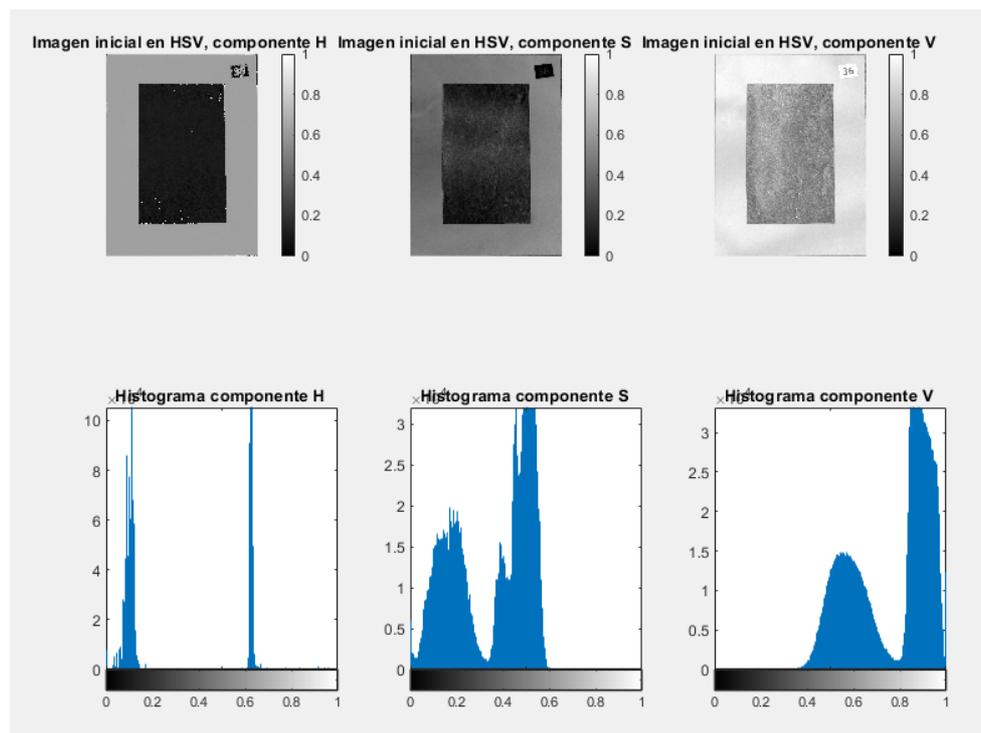


Figura 73. Descomposición HSV losa 36ini.

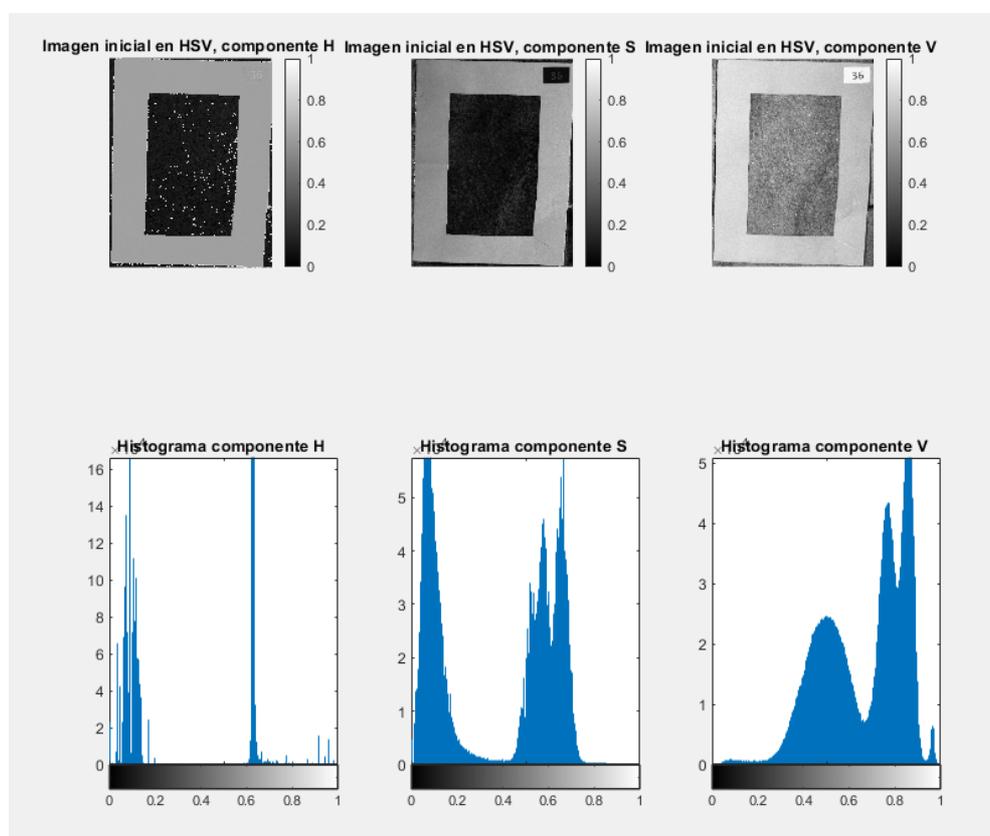


Figura 74. Descomposición HSV losa 36fin.

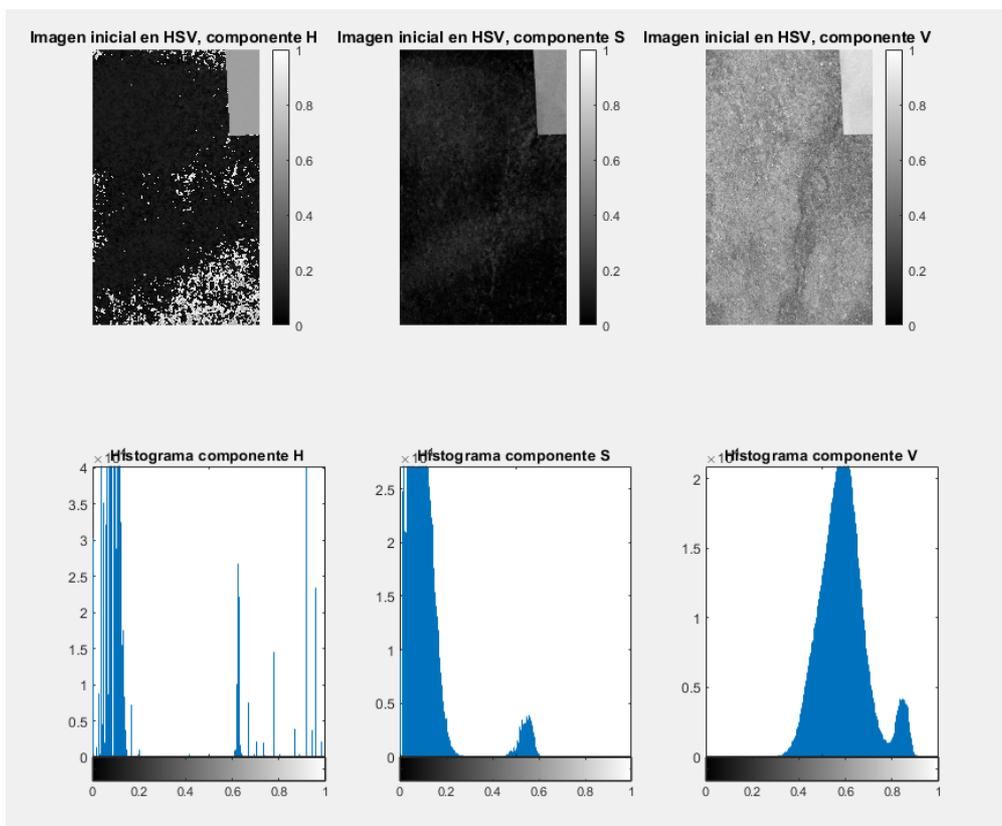


Figura 75. Descomposición HSV losa 36fin2.

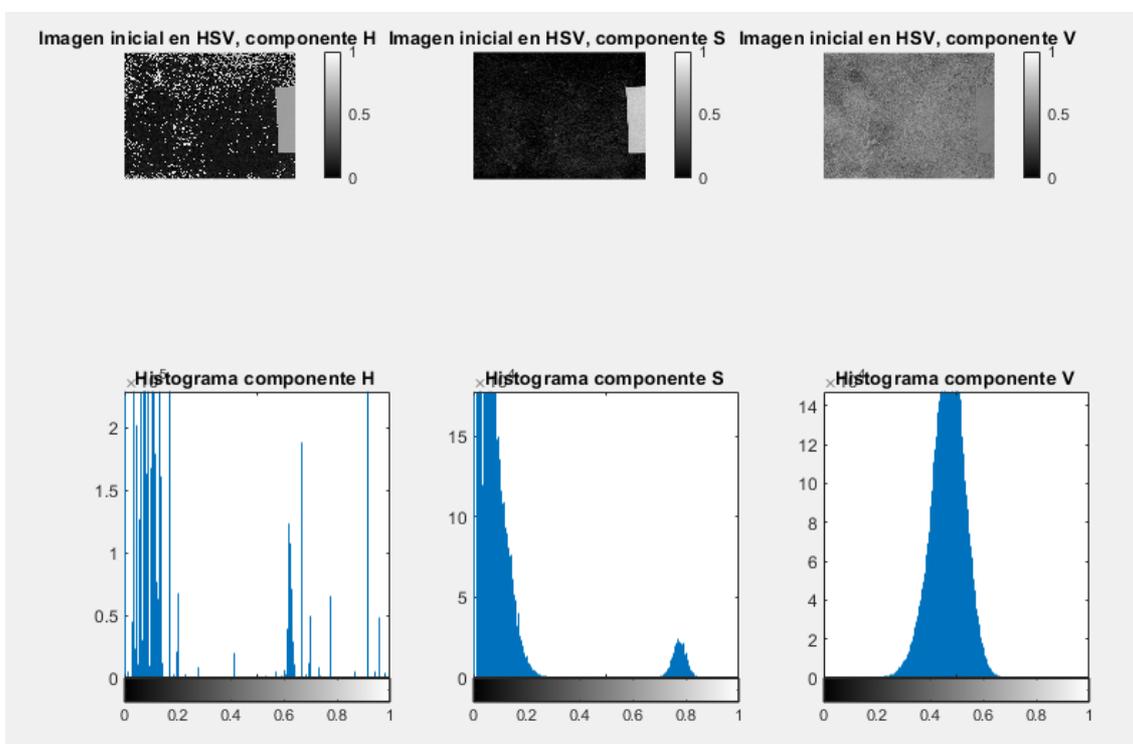


Figura 76. Descomposición HSV losa limpia1.

Observando los umbrales de las componentes H y S también podemos ver que son muy similares.

umbral_inf_h = 0	umbral_inf_h = 0	umbral_inf_h = 0	umbral_inf_h = 0
umbral_sup_h = 0.3490	umbral_sup_h = 0.3353	umbral_sup_h = 0.4275	umbral_sup_h = 0.4255
umbral_s = 0.3216	umbral_s = 0.3490	umbral_s = 0.3098	umbral_s = 0.4196
a)	b)	c)	d)

Figura 77. a) Umbral 36ini. b) Umbral 36fin. c) Umbral 36fin2. d) Umbral limpia1.

Así pues, una vez pasado por todos los pasos del procesado seguiremos con la corrección de la iluminación de las imágenes.

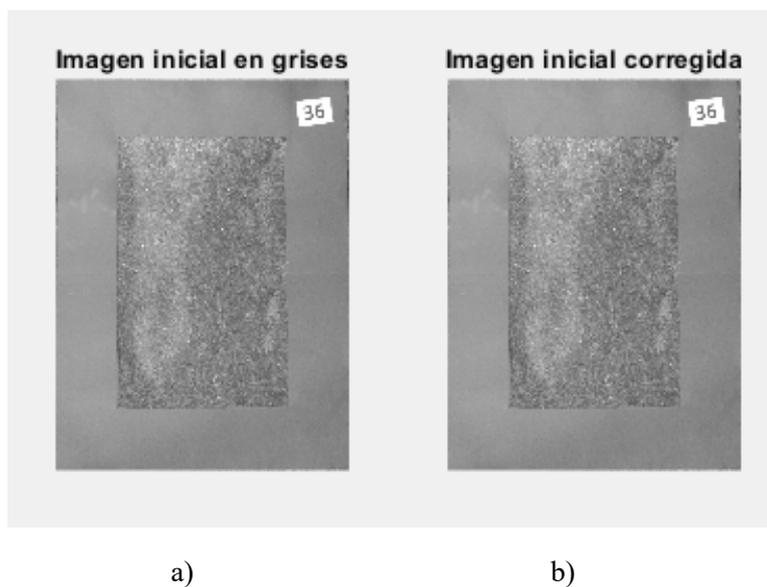
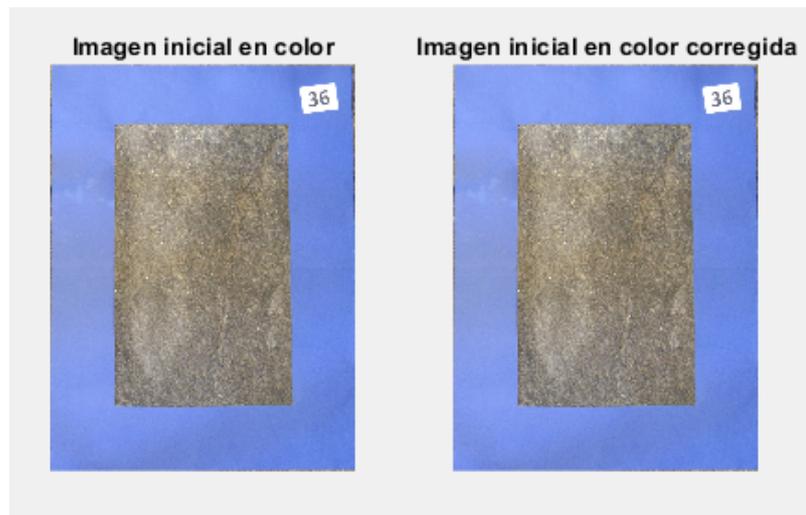


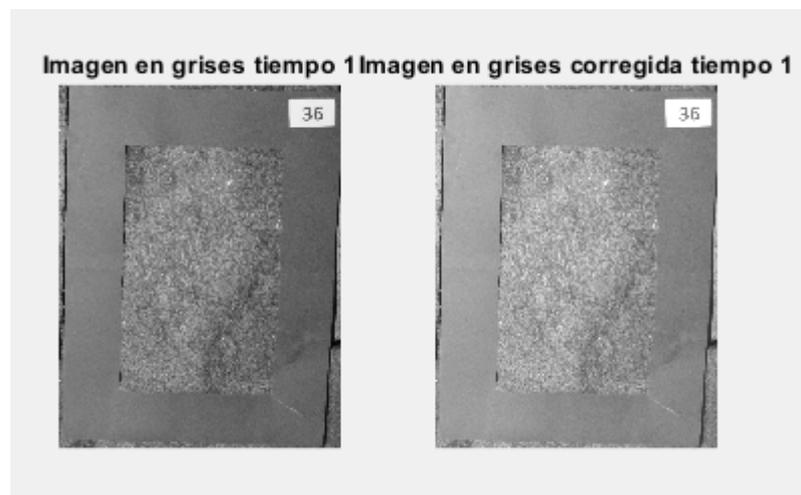
Figura 78. Imagen 36ini en grises a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

Figura 79. Imagen 36ini en color a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

Figura 80. Imagen 36fin en grises a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.

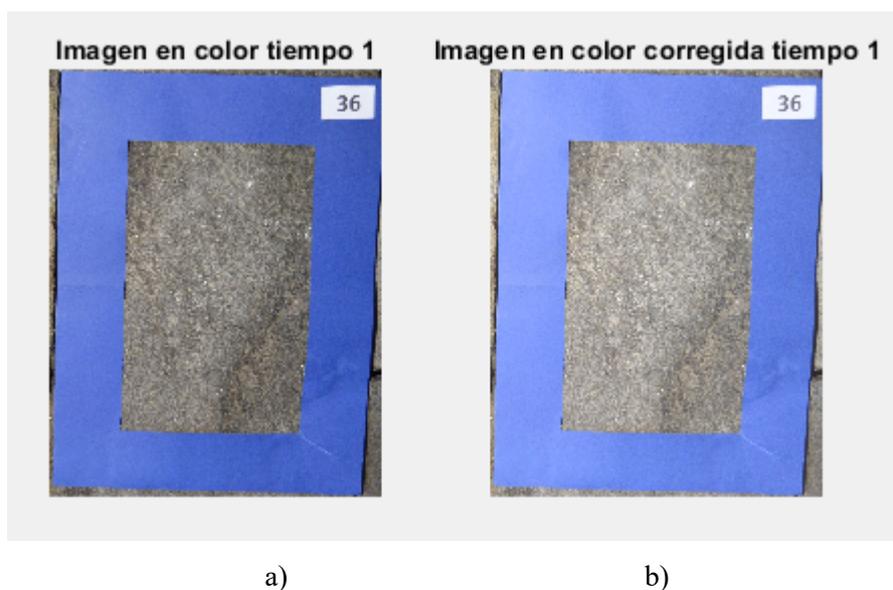


Figura 81. Imagen 36fin en color a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.

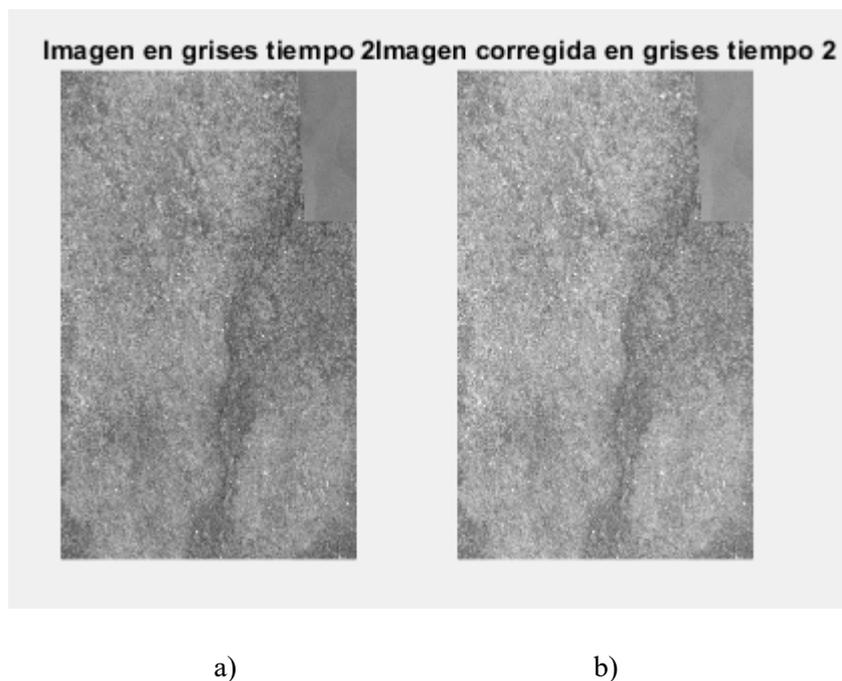
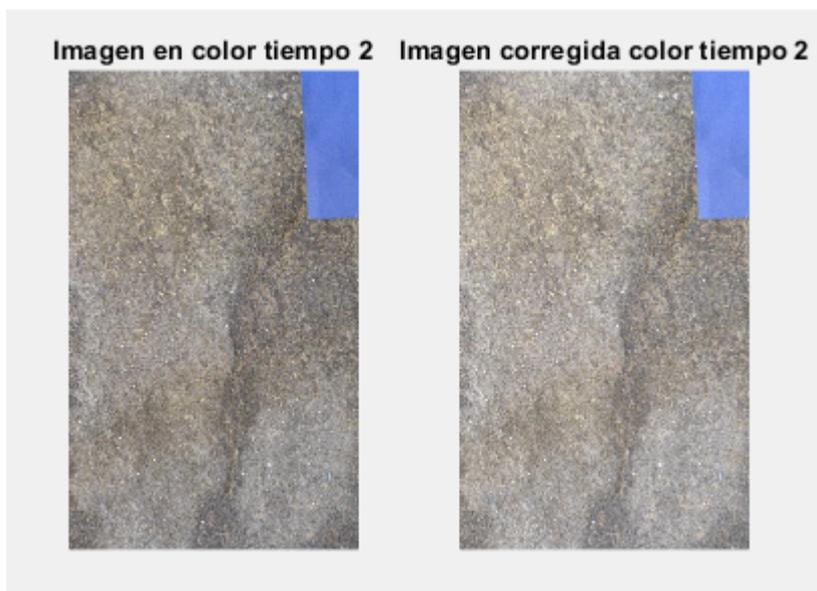


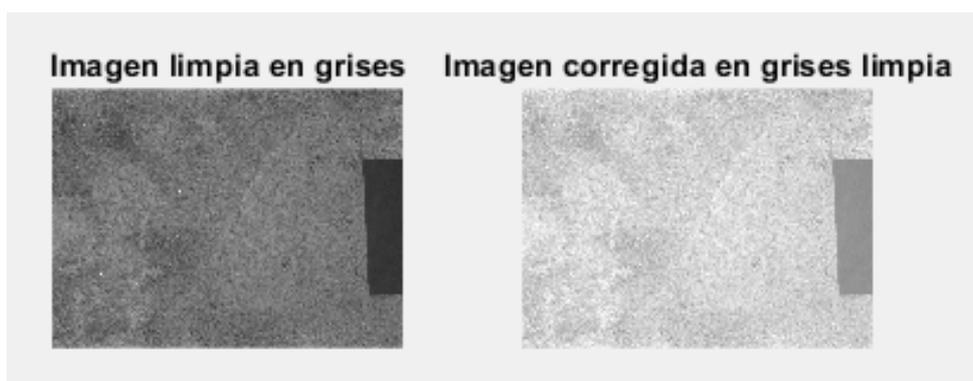
Figura 82. Imagen 36fin2 en grises a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

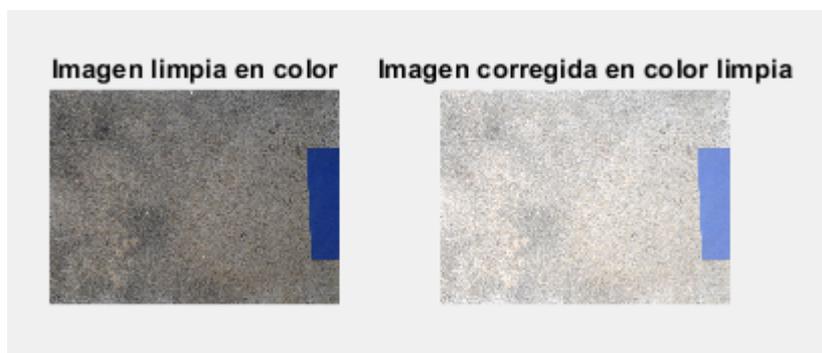
Figura 83. Imagen 36fin2 en color a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

Figura 84. Imagen Limpia1 en grises a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.



a)

b)

Figura 85. Imagen Limpia1 en color a) sin corregir y b) corregida la luminosidad.

Para acabar el análisis observaremos las diferentes gráficas de dibujamos:

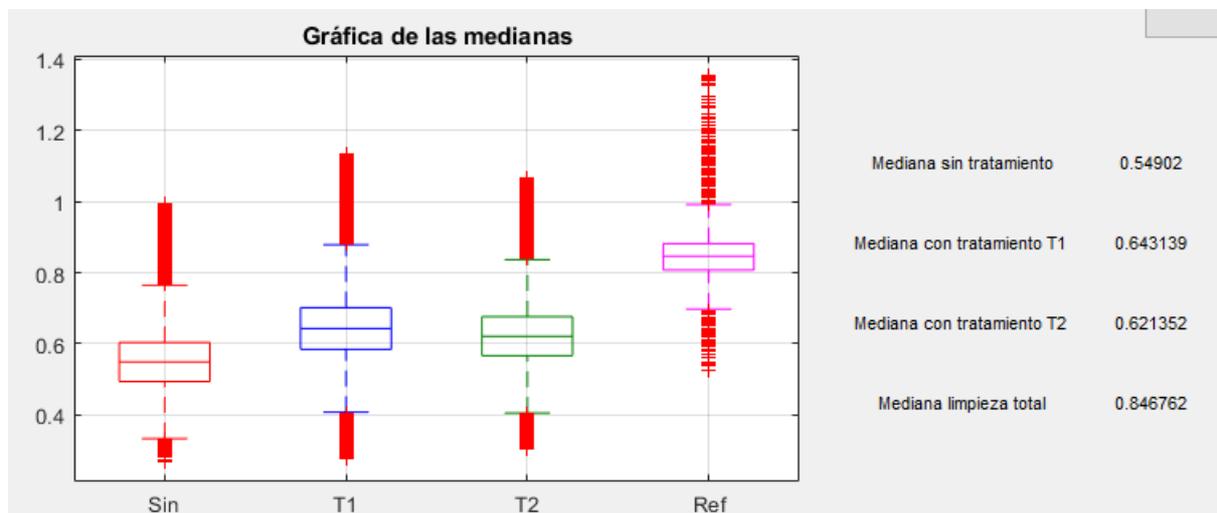


Figura 86. Gráfica medianas losa 36.

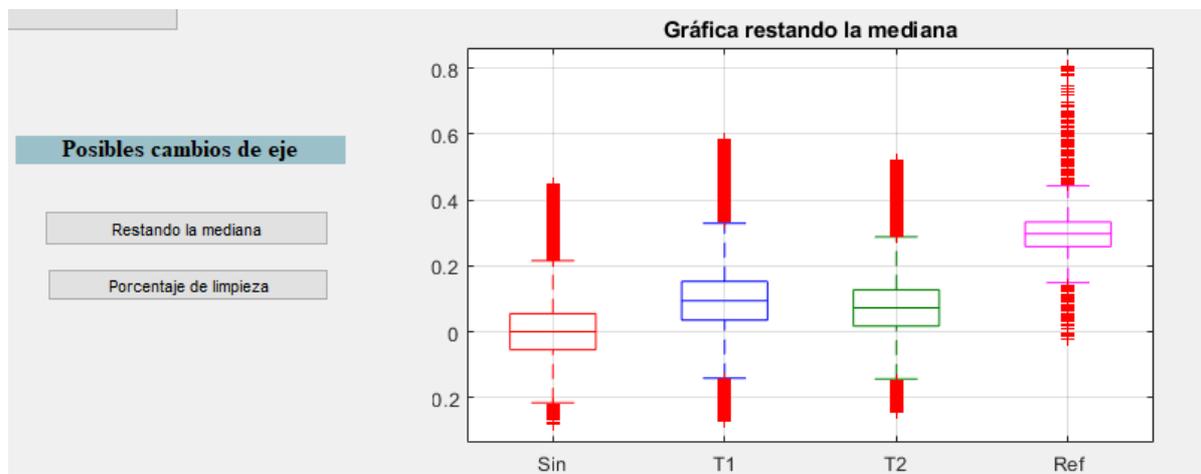


Figura 87. Gráfica restando la mediana losa 36.

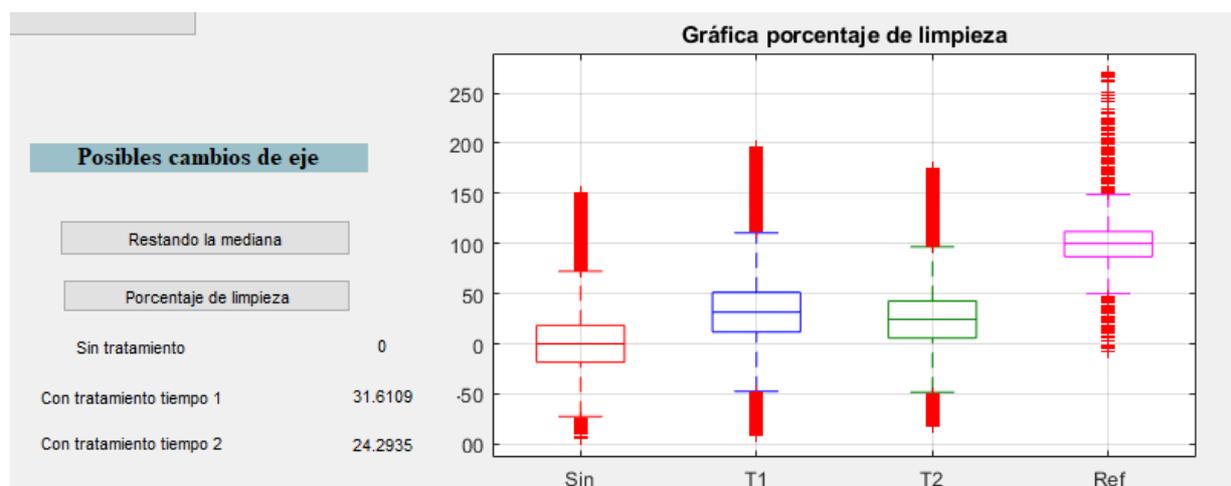


Figura 88. Gráfica porcentajes losa 36.

Como conclusión a estas gráficas podemos ver que el resultado no es tan satisfactorio como el anterior. Observamos que las gráficas no son totalmente ascendentes ya que en el segundo tiempo empeora un poco, es decir, podemos decir que el tratamiento funciona ya que en principio mejora bastante pero que al llegar al segundo tiempo la losa se ha vuelto a “ensuciar”, aunque no llegando a la suciedad del principio.

Para observar bien la diferencia entre ambas losas (36 y 40) ejecutaremos la segunda interfaz de la siguiente manera, también observaremos la losa 22. En primer lugar, cargaremos los diferentes archivos “. mat” que hemos ido guardando de la interfaz anterior y posteriormente los representaremos mediante el botón “Representar”.

Así pues, podemos observar que lo comentado anteriormente es cierto para ambas losas, es decir, tanto la losa 22 como la 40 van en sentido ascendente, eso quiere decir que vemos que mejora a lo largo del tiempo con el tratamiento utilizado. Sin embargo, en la losa 36 no es de la misma manera, vemos que mejora, pero no de la forma esperada ya que en el segundo tiempo empeora un poco respecto al primer tiempo, aunque no es una diferencia muy grande. En la *Figura 89* lo podemos observar gráficamente.

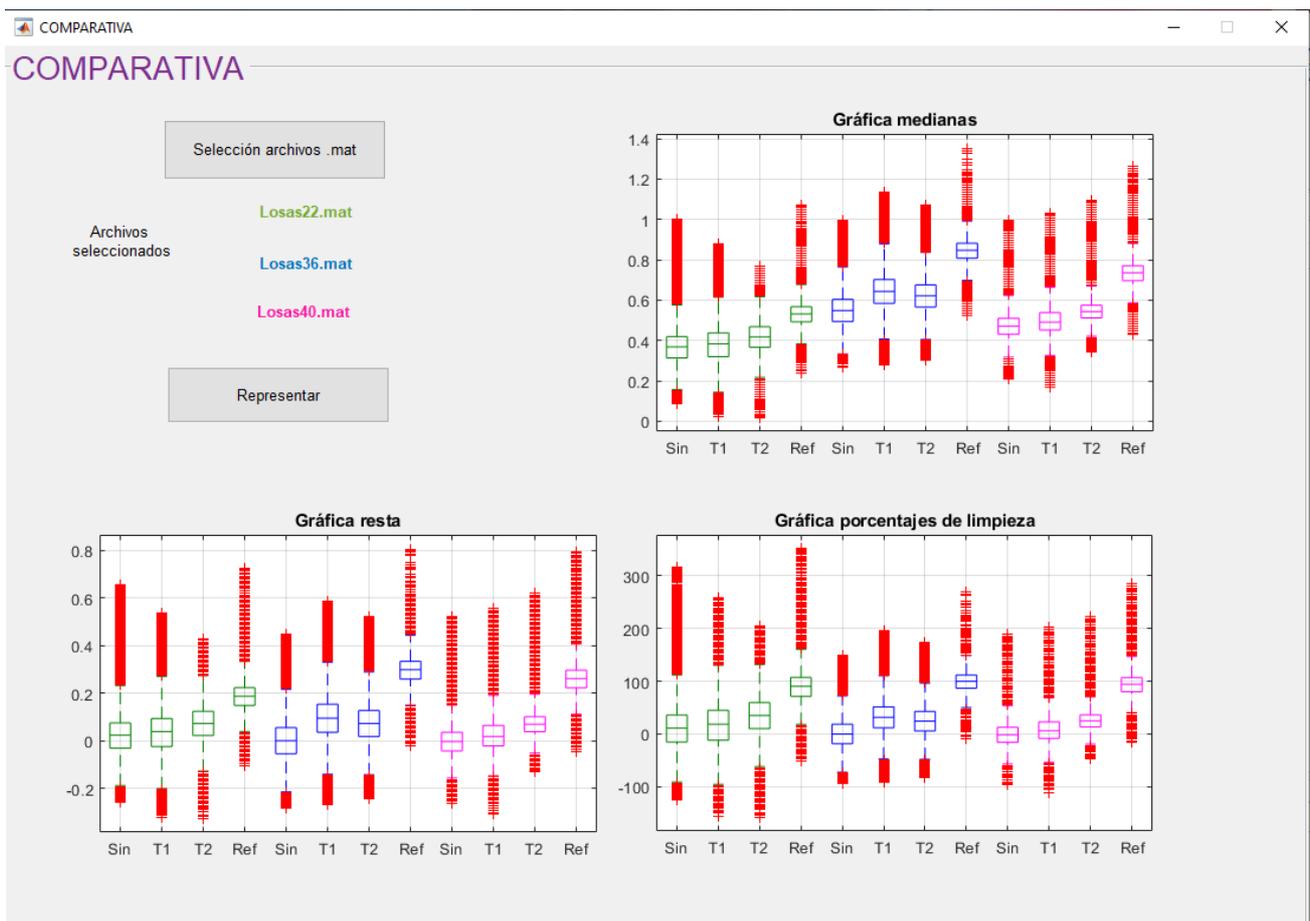


Figura 89. Comparación losa 22, losa 36 y los 40 en la segunda interfaz.

Estos son todos los datos obtenidos. En el siguiente apartado comentaremos las conclusiones de este Trabajo Fin de Grado y por último explicaremos algunas de las líneas futuras que se pueden seguir desarrollando de este trabajo.

5. Conclusiones y líneas futuras

El proyecto actual Final de Grado nace de la necesidad surgida por la Dra. Pilar Bosch y su grupo de trabajo en la Capilla de Cristo de la Iglesia de Santa María del Conxo de Santiago de Compostela de poder comparar los diferentes tratamientos de biolimpieza mediante el procesado digital de imágenes.

El enfoque de desarrollo del trabajo es lograr datos confiables y lo más precisos posibles al estimar la iluminación de las imágenes para la comparación entre las diferentes losas obtenidas. Esto ha requerido la investigación de diferentes técnicas de procesamiento. Hay tres tipos de operaciones básicas a la hora del procesamiento de imágenes digitales en niveles de grises, estas son operaciones puntuales, operaciones aritméticas y operaciones geométricas. Nosotros hemos utilizado las transformaciones puntuales que son aquellas en las que el píxel resultante depende del valor del píxel de entrada.

Para ello hemos tenido que hacer un procedimiento de segmentación el cual se encarga de examinar cada píxel de la imagen y estipular si contiene o no las características de utilidad. Como resultado, genera una imagen o máscara binaria (0/1). La resolución de pertenencia de un píxel u otro se basa en el estudio de alguna singularidad de la imagen, como por ejemplo los niveles de intensidad o la textura. Nosotros hemos utilizado la segmentación basada en píxeles y las características utilizadas para el análisis son la saturación y el brillo de las imágenes.

Una vez hecha la segmentación vimos que había elementos espúeros, que nos convenía eliminarlos y para ello utilizamos operaciones morfológicas para eliminarlos. Estas operaciones morfológicas han sido la dilatación y la erosión que con éxito nos han ayudado a eliminarlos.

En cuanto a observar la región que nos interesa procedimos a etiquetar los diferentes objetos que podíamos observar y obteniendo sus propiedades escogimos la etiqueta de más área. Hallamos la máscara final ya obteniendo la plantilla azul y así haciendo la media de este pudimos corregir la iluminación.

Al finalizar el procesado, ambas interfaces permiten observar los cambios entre las losas obteniendo las gráficas más significativas y mostrando los datos más significativos en dichas losas. La segunda interfaz es un complemento de la primera, es decir, en un principio queríamos observar el progreso de una losa a lo largo del tiempo, pero posteriormente nos pareció buena idea poderlas comparar también entre ellas, así pues, realizamos también la segunda interfaz.

Para concluir podemos decir que los objetivos del proyecto han sido cubiertos de forma satisfactoria, los datos obtenidos son datos confiables y precisos y son expuestos de manera clara para el usuario en la interfaz.

Durante el desarrollo del proyecto hemos podido observar que existen otras posibilidades diferentes para poder seguir desarrollando este trabajo pero que por falta de tiempo no se ha podido llevar a cabo. Seguidamente enumeraremos diferentes mejoras o líneas futuras que podríamos incorporar:

- Mejorar el preprocesado, incorporando la enumeración automática de las imágenes teniendo en cuenta la fecha en que se tomaron las imágenes poniendo en casa carpeta una losa distinta con muchos más tiempos a analizar.
- Incorporar la posibilidad de un análisis automatizado de todas las imágenes contenidas en una carpeta, no solo cuatro imágenes y poder analizar cada losa en todos los tiempos disponibles.
- Introducir más procesos de tratamiento de imagen para que los datos obtenidos fueran más precisos. Con una mejor corrección de la luminosidad entre imágenes de cada losa o una correlación más precisa entre píxeles de las imágenes de cada losa a lo largo del tiempo.
- Introducir mejoras gráficas para la selección manual de la zona de interés o ROI.



- Incorporar otras plataformas de guardado de los resultados, posibilitando la creación de informes estructurales en pdf.
- Migrar el código a otros lenguajes de programación más potentes como podría ser Java, C o Python, para optimizar la interfaz y permitir su uso en entornos multiplataforma.
- Utilizar el código como base para la creación de una app para dispositivos móviles, que facilite se uso “in situ” por parte de los restauradores.

6. Bibliografía

- [1] Disponible en: <https://www.elcorreogallego.es/tendencias/el-correo2/ecg/santa-maria-de-conxo-santa-maria-de-canogio/idEdicion-2015-03-08/idNoticia-920158>.
- [2] «Igrexa Catedral Metropolitana». Patrimonio Histórico. Base de datos de bienes inmuebles. Ministerio de Cultura de España. Consultado el 27-3-2020.
- [3] Disponible en: <https://www.parquefluvialdesantiago.org/es/historia-del-monasterio-de-conxo/>
- [4] Fue el sacerdote Diego de Saldaña el que, tras ser ordenado fraile mercedario en Valladolid, puso en marcha la comunidad bajo la orden de la Merced.
- [5] Breve estudio histórico de la capilla del Santo Cristo del Monasterio de Santa María de Conxo realizado a partir del estudio previo llevado a cabo por la Dra. Belén María Castro Fernández en su publicación “Francisco Pons Sorolla. Arquitectura y restauración en Compostela (1945-1985)”. Consorcio de Santiago de Compostela. Universidade de Santiago de Compostela (2013). Consultado el 28-3-2020.
- [6] Disponible en: <https://www.parquefluvialdesantiago.org/es/historia-del-manicomio-de-conxo/>
- [7] ALLEGUE, H., GARCÍA, S., OTERO, R., (2016) Cuadernos técnicos. Investigación sobre el oscurecimiento húmedo que afecta al enlosado de la capilla del Cristo de Santa María de Conxo. Consorcio de Santiago, oficina técnica.
- [8] El Consorcio de Santiago de Compostela es el órgano ejecutor del Real Patronato de Santiago, en el que se materializa la cooperación institucional entre el Gobierno de España, la Xunta de Galicia y el Ayuntamiento de Santiago. Creado en 1992, tiene la condición de Entidad de derecho público de carácter interadministrativo, de titularidad municipal, con personalidad jurídica propia y con patrimonio propio. Más información disponible en: <http://www.consorciodesantiago.org/>
- [9] BOSCH-ROIG, P., ALLEGUE, H., BOSCH, I., Granite Pavement Nitrate Desalination: Traditional Methods vs. Biocleaning Methods. Instituto de Restauración del Patrimonio (IRP), Universitat Politècnica de València. Publicado en: Sustainability 2019.
- [10] <https://es.sttmedia.com/modelo-de-color-hsv>
- [11] <https://www.comunicacion-multimedia.info/2010/05/modos-o-modelos-de-color-hsb-o-hsv-y.html>
- [12] <https://docs.gimp.org/2.10/es/plug-in-decompose-registered.html>
- [13] <https://es.slideshare.net/JorgeAntonioParraSerquen/segmentacin-por-umbralizacin-mtodo-de-otsu>
- [14] <https://es.mathworks.com/help/images/morphological-dilation-and-erosion.html#:~:text=La%20dilataci%C3%B3n%20agrega%20p%C3%ADxeles%20a,utilizado%20para%20procesar%20la%20imagen>.
- [15] <http://alojamientos.us.es/gtocom/pid/tema5-1.pdf>
- [16] <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5249/1/T171.pdf>



7. ANEXO I

```
function [props,img_n,medialum]=Procesa61(hObject, eventdata, handles,  
img)  
  
%% descomposición en HSV (cono de colores)  
%% lo representa por componente  
  
    img_hsv=rgb2hsv(img);  
  
    % figure  
    % subplot(2,3,1)  
    img_h=img_hsv(:,:,1);  
    imshow(img_h)  
    % colorbar  
    % title('Imagen inicial en HSV, componente H ')  
    %  
    % subplot(2,3,2)  
    img_s=img_hsv(:,:,2);  
    imshow(img_s)  
    % colorbar  
    % title('Imagen inicial en HSV, componente S ')  
    % %  
    % subplot(2,3,3)  
    img_v=img_hsv(:,:,3);  
    imshow(img_v)  
    % colorbar  
    % title('Imagen inicial en HSV, componente V ')  
  
    % Cálculo de histogramas  
  
    % subplot(2,3,4)  
    % imhist(img_h);  
    % title('Histograma componente H ');  
    %  
    % subplot(2,3,5)  
    % imhist(img_s);  
    % title('Histograma componente S ');  
    %  
    % subplot(2,3,6)  
    % imhist(img_v);  
    % title('Histograma componente V ');  
  
    %% Umbralización  
  
    % Componente H  
    levelh = graythresh(img_h);          % umbral h con Otsu  
    umbral_inf_h=0;  
    umbral_sup_h=levelh;  
  
    masc_h_inf=img_h>umbral_inf_h;  
    masc_h_sup=img_h<umbral_sup_h;masc_h=masc_h_inf.*masc_h_sup;  
  
    % figure  
    % imshow(masc_h)  
    % title(['Imagen umbralizada componente H ', 'Con  
    umbrales:',num2str(umbral_inf_h),' y ',num2str(umbral_sup_h)])
```



```
% Componente S
levels = graythresh(img_s);          % umbral s con Otsu
umbral_s=levels;
masc_s=img_s>umbral_s;

% figure
% imshow(masc_s)
% title(['Imagen umbralizada componente S ', 'Con umbral
inf:',num2str(umbral_s)])

%% Eliminación de elementos espúreos

% Eliminamos los elementos puntuales interiores a las probetas

tam1=15;
se1 = strel('square',tam1);
masc_h=imdilate(masc_h,se1);

se1 = strel('square',tam1); %square onda cuadrada de periodo 2pi
masc_h=imerode(masc_h,se1);

% figure
% imshow(masc_h)
% title(['mascara con dilate+erode de: ',num2str(tam1),': '])

%mascara=masc_h.*(1-masc_s);

mascara=masc_h;

% Eliminamos los elementos puntuales exteriores a las probetas

tam2=15; %151
se1 = strel('square',tam2);
mascara=imerode(mascara,se1);

se1 = strel('square',tam2);
mascara=imdilate(mascara,se1);

% figure
% imshow(mascara)
% title(['mascara con erode+dilate de: ',num2str(tam2),': '])

% Imagen

img_m(:,:,1)=double(img(:,:,1)).*mascara;
img_m(:,:,2)=double(img(:,:,2)).*mascara;
img_m(:,:,3)=double(img(:,:,3)).*mascara;

% figure
% imshow(uint8(img_m))
% title('Imagen enmascarada ')
% xlabel('Numeración de probetas de abajo a arriba y de izquierda a
derecha')
```



```
%% Etiquetado

% Etiquetar objetos

L = bwlabel(mascara);
props=regionprops(L);

% figure
% imshow(L)
% for ii=1:length(props)
%     text(props(ii).Centroid(1),props(ii).Centroid(2),num2str(ii));
% end
% title('Imagen etiquetada ')

%% Conversión a grises
imggray=rgb2gray(img);
%imggray=rgb2gray(uint8(img_m));
img_n=double(imggray)/255;
% figure
% imshow(img_n)

%% Selección de zona de color azul para tomar una muestra del fondo
que usar para comparar niveles medios de gris y poder compensar
efectos de iluminación.

% Erosionamos la máscara de Tono azul

masc_azul=(1-(1-mascara).*(1-masc_s)).*(1-mascara);

tam3=21;
se2 = strel('square',tam3);
masc_azul=imerode(masc_azul,se2);

Img_azul=img_n.*(masc_azul);
Img_azul((Img_azul==0))=NaN;

medialum=mean(Img_azul(:),'omitnan'); %media
desvlum=std(Img_azul(:),'omitnan'); %desviacion estandar

% figure
% img_azul(:,:,1)=double(img(:,:,1)).*masc_azul;
% img_azul(:,:,2)=double(img(:,:,2)).*masc_azul;
% img_azul(:,:,3)=double(img(:,:,3)).*masc_azul;
% imshow(uint8(img_azul))
% title(['Trozo seleccionado para referencia con:
Media:',num2str(medialum),' y varianza: ',num2str(desvlum)])

%% Selección de la región correcta

for ii=1:length(props)
    Area(ii)=props(ii).Area;
end
%indice=find(Area==max(Area));

props=props(find(Area==max(Area)));
```



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

— **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN