



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA



TESIS

SISTEMA DE RECONOCIMIENTO ÓPTICO DE PATRONES DIGITALIZADOS PARA PROCESOS DE CALIFICACIÓN, PUNO

PRESENTADA POR:

FREDY HERIC VILLASANTE SARAVIA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

PUNO, PERÚ

2021



DEDICATORIA

A la presencia de Dios padre, presente
en mis retos de vida

A mis seres queridos, siempre presentes
en mí, mi madre Jesús, papá Manuel y
hermano Heric.

A mi hijo Joaquín Alessandro, por tu
constante exigencia en culminar mi
tesis de grado y ejemplo de
perseverancia y resiliencia

A mi esposa, compañera de vida y
cómplice de todos nuestros retos, a ti
Teresa Paola.

A Eduardo, Janet, Sivonne y Milena,
gracias.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno y mi facultad, motivos de pasión por la docencia e investigación.

A mis jurados, Dr. Efraín Humberto Yupanqui Pino, Dr. Iván Delgado Huayta y al Dr. Godofredo Quispe Mamani, gracias por sus aportes y apoyo en el trabajo de investigación.

A mi asesor, el Dr. José Emmanuel Cruz de la Cruz, gracias amigo por tu apoyo.

A mis colegas Edgar, Nayer, Remo y Godo, por su impulso constante.

Mi reconocimiento especial a Amilkar Sucasaca, por ser cómplice de muchos años en las ideas de proponer soluciones de TI.



ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|-------------------|-------------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| ÍNDICE GENERAL | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vi |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

| | |
|---|----|
| 1.1 Marco teórico | 3 |
| 1.1.1 Clasificación de texturas | 3 |
| 1.1.2 Procesamiento de imágenes digitales | 3 |
| 1.1.3 Tratamiento De Texturas | 6 |
| 1.1.4 Segmentación | 8 |
| 1.2 Antecedentes | 13 |
| 1.2.1 Nacionales | 13 |
| 1.2.2 Internacionales | 17 |

CAPÍTULO II

PANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

| | |
|---------------------------------|----|
| 2.1 Identificación del problema | 21 |
| 2.2 Enunciados del problema | 21 |
| 2.3 Justificación | 22 |
| 2.4 Objetivos | 23 |
| 2.4.1 Objetivo general | 23 |
| 2.4.2 Objetivos específicos | 23 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|----------------------|----|
| 3.1 Lugar de estudio | 24 |
| 3.2 Población | 24 |
| 3.3 Muestra | 24 |



| | | |
|-------------------------------|--|----|
| 3.4 | Método de investigación | 24 |
| 3.5 | Descripción detallada de métodos por objetivos específicos | 27 |
| 3.5.1 | OE1: Análisis de los requerimientos algorítmicos para el sistema de reconocimiento | 27 |
| 3.5.2 | OE2: Aplicación de algoritmo de detección de bordes y escala de grises para el proceso de reconocimiento | 30 |
| 3.5.3 | OE3: Optimizar el funcionamiento y tiempo de proceso del sistema de reconocimiento óptico de patrones | 32 |
| CAPÍTULO IV | | |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | |
| 4.1 | Patrón de referencia | 33 |
| 4.2 | Proceso de digitalización usando dispositivos de captura | 35 |
| 4.3 | Proceso de normalización | 35 |
| 4.3.1 | Formato | 35 |
| 4.3.2 | Resolución | 36 |
| 4.3.3 | Identificación de los objetos a digitalizar | 36 |
| 4.3.4 | Encuadre | 38 |
| 4.3.5 | Conversión color a binario (blanco o negro) | 39 |
| 4.3.6 | Umbral de referencia | 41 |
| 4.3.7 | Definición y lectura de los sectores del patrón | 43 |
| 4.4 | Proceso de reconocimiento | 45 |
| 4.4.1 | Definición de variables | 45 |
| 4.4.2 | Identificación de sectores | 46 |
| 4.4.3 | Archivos generados | 48 |
| CONCLUSIONES | | 53 |
| RECOMENDACIONES | | 54 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 55 |
| ANEXOS | | 59 |

Puno, 06 de diciembre de 2021

ÁREA: Gestión de base de datos.
TEMA: Reconocimiento óptico de patrones.
LÍNEA: Base de datos.



ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| 1. Calidad de impresión | 25 |
| 2. Pruebas de resolución | 28 |
| 3. Comparación de tiempos de digitalización | 35 |
| 4. Tiempos de reconocimiento | 36 |
| 5. Equivalencias de escala de grises a escala binaria | 40 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| 1. Cubo unitario de color para el modelo RGB | 4 |
| 2. Modelo HSV | 5 |
| 3. Modelo HSL | 5 |
| 4. Modelo de texturas | 6 |
| 5. Técnicas de segmentación | 9 |
| 6. Método de búsqueda de espacios | 10 |
| 7. Búsqueda basada en grafos | 11 |
| 8. Arquitectura básica de un sistema experto | 12 |
| 9. Adaptación del modelo de desarrollo | 26 |
| 10. Modelo de procesamiento de imágenes | 27 |
| 11. Escala cromática de grises | 31 |
| 12. Modelo de impresión digital | 34 |
| 13. Ficha de impresión doméstica | 34 |
| 14. Algoritmo de reconocimiento | 37 |
| 15. Posible escaneo erróneo | 38 |
| 16. Método clásico de cálculo del ángulo | 39 |
| 17. Umbral de referencia | 41 |
| 18. Proceso de limpieza | 42 |
| 19. Identificación de filas de validadas | 43 |
| 20. Proceso de reconstrucción | 44 |
| 21. Módulo principal | 45 |
| 22. Módulo de identificación de variables | 46 |
| 23. Módulo de identificación de sector o grupo | 46 |
| 24. Módulo de captura de sector o grupo | 47 |
| 25. Módulo de reconocimiento óptico de patrones | 48 |
| 26. Archivo log del estado del proceso | 49 |
| 27. Archivo con contenido de parámetros de configuración | 50 |
| 28. Archivo de resultados del proceso de reconocimiento óptico de patrones | 51 |



RESUMEN

Las implicancias que tiene un proceso de calificación, como exámenes o consultas, pasa por la veracidad de los resultados. Por ello, surge el problema de crear un sistema basado en algoritmos clave para el proceso de reconocimiento óptico de patrones. A ello se suma la dependencia tecnológica existente como las fichas con impresión digital y sus lectoras ópticas, Estos son motivos más que suficientes para proponer algoritmos eficientes y confiables que permitan no solo realizar el proceso de reconocimiento, sino que también dejar la gran posibilidad de usar lo digitalizado para publicar la tarjeta con los resultados obtenidos. Basado en la metodología cuantitativa de diseño experimental, se recurrió a técnicas sencillas, como la determinación del ángulo entre dos puntos para el proceso de encuadre de la tarjeta. Luego, la aplicación e implementación del algoritmo de la escala cromática de Munshell hasta la adaptación de la técnica del Buen Vecino para el proceso de reconocimiento óptico de patrones, basado en la metodología de reconocimiento de imágenes por recomendación de MathWork® con el apoyo de la herramienta de desarrollo Visual Studio Community®. El tiempo de procesamiento por tarjeta es de 0,07 centésimas de segundo, identificando que la imagen ideal debe tener 200dpi de resolución. Las imágenes digitalizadas de las tarjetas tienen un peso aproximado de 270 KB, tamaño ideal para publicarlo con su resultado, así garantizar la veracidad y confiabilidad. Finalmente se tiene un ítem de las discusiones de nuestros resultados a todo nivel, desde las técnicas aplicadas, hasta los tiempos de proceso.

Palabras clave: binarización, calificación, óptico, optimización, patrones



ABSTRACT

The implications of a qualification process, such as examinations or consultations, are based on the veracity of the results. Thus, the problem of creating a system based on key algorithms for the optical pattern recognition process arises. To it is added to the existing technological dependence such as digitally printed cards and their optical readers. These are enough reasons to propose efficient and reliable algorithms that allow not only to perform the recognition process but also to leave the great possibility of using the digitized to publish the card with the results obtained. Based on the quantitative methodology of experimental design, we resorted to techniques as simple as the determination of the angle between two points for the process of framing the card. Then, by the application and implementation of the Munshell chromatic scale algorithm until the adaptation of the Good Neighbor technique for the process of optical pattern recognition, based on the methodology of image recognition by recommendation of MathWork® with the support of the development tool Visual Studio Community®. The processing times per card is 0.07 hundredths of a second, identifying that the ideal image should have 200dpi resolution. The digitized images of the cards have an approximate weight of 270 KB, ideal size to publish it with its result, thus guaranteeing veracity and reliability. Finally, there is an item on the discussion of our results at all levels, from the techniques applied to the processing times.

Keywords: binarization, grading, optical, optimization, pattern

|

INTRODUCCIÓN

En los procesos de calificación actualmente utilizados no han sufrido mayor cambio en relación a la forma y tiempo de procesamiento, somos conocedores que los sistemas usualmente usados son: La calificación por medio de uso de lectoras ópticas, que en nuestro medio, instituciones como la Universidades públicas y privadas así como instituciones de otros rubros usan estos sistemas de lectoras ópticas, de allí podemos aseverar con razón que, dependen de sus tarjetas y restricciones que estos equipos y proveedores de suministros ofrecen. Otro sistema usualmente usado y por lo general por instituciones o procesos de calificación relativamente pequeños en términos de cantidad a calificar, es los sistemas de calificación manual mediante plantillas, sistema que por demás no ofrece la rapidez y además está sujeto a calificaciones subjetivas y errores involuntarios.

El sistema desarrollado expresado en una serie de algoritmos da solución a estos inconvenientes; dentro de las características más importantes esta la no dependencia de suministros, como es el caso de las tarjetas y/o fichas que, más allá de la garantía que ofrece esta tecnología no está en la capacidad de demostrar y mostrar lo que los usuarios marcaron, y así validar la calificación. Nuestra propuesta de desarrollo es, no solo garantizar la calificación real, sino que también deja la posibilidad de hacer uso la tecnología web y poder publicar la tarjeta marcada tal y como lo hicieron los usuarios, además, en relación al suministro como las tarjetas, se podrán elaborar a un mínimo costo comparando con un sistema de impresión digital, que es lo que usa las lectoras ópticas actuales. Por tanto, lo que pretendemos desarrollar es innovar los procesos de calificación con garantía, estabilidad y veracidad en los procesos de calificación y además de cumplir dentro de las líneas de investigación que está enmarcada en la línea de Reconocimiento de Patrones.

El trabajo de investigación está organizado de la siguiente forma: Capítulo I, exponemos el estado del arte donde se describe investigaciones realizadas en otros ámbitos y áreas de aplicación de técnicas de reconocimiento en artículos científicos y trabajos de tesis. En el Capítulo II describimos el problema, fundamentando las cualidades de los algoritmos expresados mediante los objetivos y su respectiva justificación. En el Capítulo III puntualizamos a detalle la metodología a través de los pasos secuenciales del proceso



de reconocimiento. En el Capítulo IV se muestra los resultados obtenidos y las discutimos con otros trabajos de investigación.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Clasificación de texturas

Para clasificar texturas se pueden usar métodos, los cuales se basan en la consulta a (Parker, 1997):

Métodos Estadísticos: La distribución espacial de valores de gris es una calidad que define la textura. Analizando la distribución espacial de los valores de gris, se computan características locales de la textura.

Métodos Geométricos: Consideran la textura compuesta por primitivas. Intentan describir las primitivas y las reglas que gobiernan la organización espacial.

Métodos basados en modelos: Se basan en la construcción de un modelo que describe la textura. Se pueden utilizar para reconocer texturas o para sintetizarlas. En el caso de representación de texturas mediante redes complejas tenemos algunos modelos que presentan ventajas y limitaciones que a continuación se explicara (Julesz, 1997).

1.1.2 Procesamiento de imágenes digitales

El uso de RNA para identificar patrones en objetos, usualmente conlleva un paso previo, y de gran importancia, que permita garantizar que los datos con los cuales la red neuronal será entrenada le proporcionen un funcionamiento y una entrega de resultados adecuados; este paso es el procesamiento de las imágenes digitales, que

permite organizarlas, verificar algún tipo de anomalía y aplicar técnicas que permitan mejorar la imagen original (Gonzales, R, y Woods, 1996). El procesamiento de las imágenes digitales implica ejecutar una serie de pasos que garanticen modificar la imagen original y convertirla en aquella que resulte útil para su aplicación; estos pasos son:

La obtención de imágenes: Proceso que puede realizarse por medio de la utilización de un escáner o una cámara digital. Las imágenes son, comúnmente, digitalizadas en el formato RGB (Red, Green, Blue), en donde los valores posibles para cada entrada son de 255, representando el número de 8 bits, con una profundidad de 24 bits, lo que se representa en $(2^8)^3=16\ 777\ 216$ colores que se pueden formar con la combinación de estos tres colores primarios; este es un modelo sensorial, más orientado a los equipos electrónicos. Los colores se representan en coordenadas cartesianas, en donde cada color es un vector de origen y la diagonal principal corresponde a la escala de grises (Sucar y Gómez, 2011).

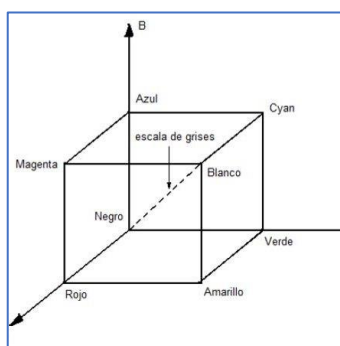


Figura 1. Cubo unitario de color para el modelo RGB.

Nota. Representación de los colores en el plano cartesiano (Sucar y Gómez, 2011)

Por otro lado, en (*Modelo de Color HSL y HSV – HiSoUR Arte Cultura Historia*, n.d.) los modelos perceptuales se enfocan en cómo se observan los objetos mediante la visión; entre estos modelos se encuentra el HSV (Hue, Saturation, Value, o Tono, Saturación, Valor), que se obtiene deformando el modelo RGB, de tal manera que se convierte en una pirámide hexagonal invertida, en donde el eje vertical es la

brillantez o valor (V); el eje horizontal, la saturación (S), y el ángulo de la proyección horizontal, el cromatismo (H) (Kiver, 1985).

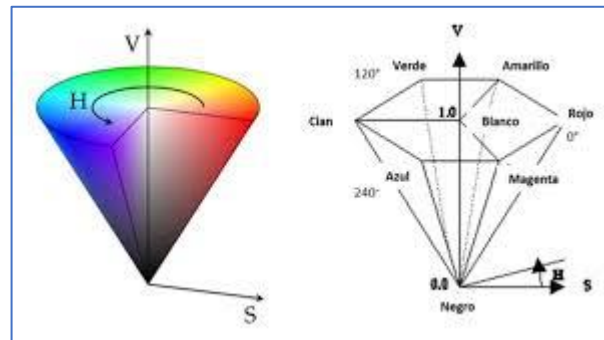


Figura 2. Modelo HSV.

Nota. Modelo Tono, Saturación, valor (Kiver, 1985)

El HSL (Hue, Level, Saturation), otro modelo perceptual, se basa en coordenadas polares en 3 dimensiones, obteniendo un espacio en forma de dos conos unidos en una base (Castleman, 1996).

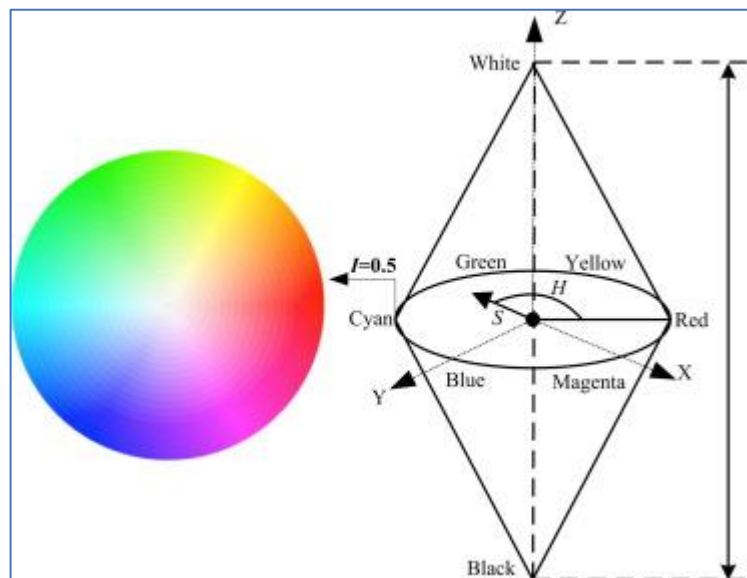


Figura 3. Modelo HSL

Nota. Modelo Tono, Saturación, Nivel (Castleman, 1996)

1.1.3 Tratamiento De Texturas

En el mundo del reconocimiento digital de objetos es de imperiosa necesidad de analizar y reconocer los diferentes tipos de texturas, de los que podemos identificar algunos tipos relevantes que se clasifican en (La Serna *et al.*, 2010):

a) Modelos estructurales:

Las texturas altamente regulares se pueden describir en términos de elementos (polígonos) que en pocas formas básicas se repiten uniformemente en la superficie. Las texturas regulares son aquellas en que cada polígono tiene el mismo número de lados (Puerto *et al.*, 2017).

Existen tres texturas regulares para un plano, como se ilustra en la siguiente figura (Aliev *et al.*, 2018):

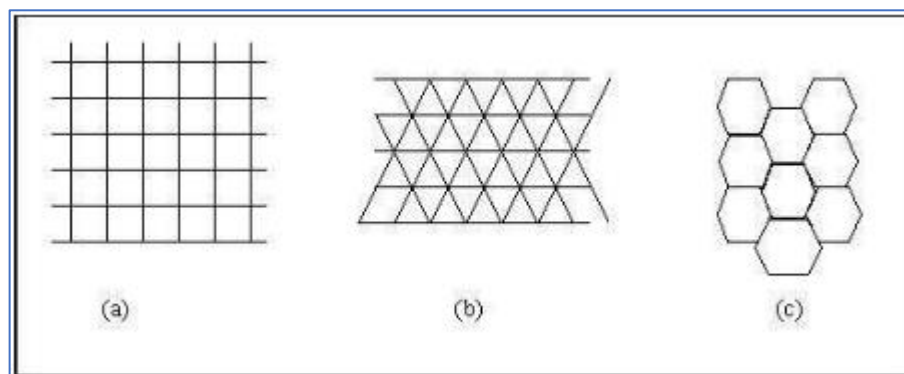


Figura 4. Modelo de texturas.

Nota. (a) Elemento rectangular, (b) Elemento triangular, (c) Elemento hexagonal (Aliev *et al.*, 2018)

Modelos estadísticos

Israel & Hondal (2017) consideran que muchas texturas no tienen una estructura tan regular y uniforme, por lo que es más adecuado describirlas en términos de modelos estadísticos. Para esto se utilizan técnicas de reconocimiento estadístico de patrones. Un primer método, relativamente simple, es utilizar el histograma de niveles de gris y caracterizarlo mediante sus momentos.

El momento n respecto a la media m se define como:

$$\mu_n(z) = \sum_i (z_i - m)^n P(z_i)$$

Donde z_i es el nivel de gris y $P(z_i)$ es su respectiva probabilidad, estimada a partir del histograma, donde se determina cada textura en función a:

$$R = 1 - \frac{1}{(1 + \sigma^n(z))}$$

Considerando que R toma valor de cero (0) para áreas de intensidad uniforme y se aproxima a 1 para áreas de muy alta varianza.

Modelos espectrales

A continuación se presentan (Forero-Cabrera *et al.*, 2017):

- La amplitud de los picos prominentes da la dirección principal de los patrones en la textura.
- La localización de los picos en frecuencia indica el periodo espacial de los patrones.
- Eliminando componentes periódicas mediante filtros en Fourier, se pueden dejar solo las componentes a–periódicas a las que se les aplica técnicas estadísticas.

Agrupamiento perceptual

En el proceso de segmentación o segregación de objetos en escenas en donde se aplica las técnicas de agrupamiento perceptual, existen varios principio o reglas heurísticas de las que se basan la percepción para agrupar elementos en contornos y regiones y entre otras tenemos:

- *Proximidad*, elementos cercanos tienden a ser percibidos como una unidad (Morris & Maisto, 2005) .
- *Similaridad*, elementos similares (en intensidad, color, forma, etc.) tienden a ser parte de una unidad.
- *Continuidad*, elementos forman grupos que minimizan el cambio o discontinuidad.
- *Cerradura*, elementos se agrupan en figuras completas regulares.

- *Simetría*, regiones rodeadas por contornos simétricos se perciben como figuras coherentes.
- *Simplicidad*, si existe ambigüedad, de forma que se pueden percibir dos o más figuras de los mismos elementos, ésta se resuelve en favor de la alternativa más simple.

Sin embargo, mediante la proximidad, continuidad y similaridad se pueden aplicar con efectividad el agrupamiento de orillas en contornos y presencia de ruido (Kimchi, 2000).

1.1.4 Segmentación

En la visión computacional se aplica el viejo adagio “divide y reinaras”, claro, considerándolo como un paso importante al separar la imagen en unidades significativas y así llegar al reconocimiento de objetos y a todo este proceso se le llama *segmentación*. Este proceso, en un bajo nivel de percepción se podría identificar miles o millones de píxeles, sin embargo, mediante la segmentación podemos tratarlo e identificarlo como regiones mediante la caracterización de la intensidad de los píxeles, textura, color, gradiente y profundidad relativa (Armas-Costa *et al.*, 2018).

Existen varias técnicas para la segmentación de regiones. tipos: Estas se pueden clasificar en tres:

Locales, se basan en agrupar píxeles en base a sus atributos y los de sus vecinos (agrupamiento).

Globales, se basan en propiedades globales de la imagen (división).

División, agrupamiento (split & merge) – combinan propiedades de las técnicas locales y globales.

Segmentación por histograma

Técnica que se basa en asumir la existencia de un solo objeto sobre un fondo uniforme, de ello se consideran dos regiones en la imagen por lo que se puede dividir como base el histograma de intensidades (Canela *et al.*, 2019).

En la aplicación de esta técnica de segmentación se asume la existencia de al menos dos regiones de tal forma que todos los pixeles pertenecen a uno de los lados de las regiones, como muestra la siguiente figura:

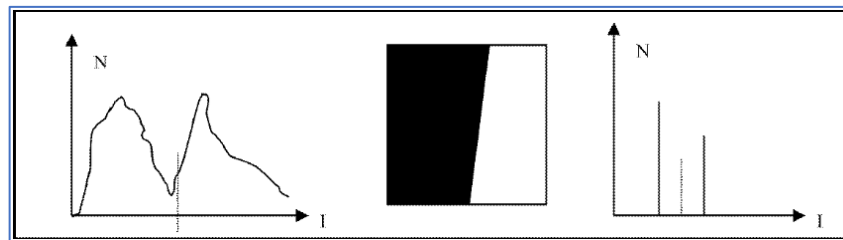


Figura 5. Técnicas de segmentación

Nota. Modelos de aplicación de las técnicas de segmentación (Canela *et al.*, 2019)

De lado izquierdo se muestra un histograma típico de una imagen con dos regiones (bimodal). La imagen del centro es un ejemplo de una imagen “ideal” con dos regiones, la cual produce el histograma del lado derecho. En ambos histogramas se indica con una línea punteada la separación del histograma, que corresponde a las dos regiones de la imagen.

Evidentemente dependiendo de la complejidad del objeto se puede extender a N regiones, por ellos se recomienda aplicar esa técnica para objeto de “pocas” regiones, ya que se podría generar picos y valles en el histograma con pocas posibilidades de control o distinción (Garc & Saavedra, 2018), (Canela *et al.*, 2019).

Segmentación por crecimiento de regiones

Se basa en tomar un pixel o conjunto de pixeles, como una región inicial (semilla) y de ello crecer por toda la región hasta los límites permitidos. Podemos identificar métodos relevantes (Castrillo, 2017):

Método de búsqueda en espacio de estados:

Considera a una representación de espacio de estados generando un “estado discreto”, donde cada pixel es una región distinta donde se toman inicialmente las orillas obtenidas por cierto detector de orillas, incluyendo su magnitud y dirección. Entonces se eliminan orillas de acuerdo a ciertos criterios, formando regiones mayores. Los criterios se basan en alguna de las siguientes consideraciones:

- Eliminar la orilla si su magnitud es menor a cierto límite.
- Eliminar la orilla si no existen orillas contiguas de dirección similar.
- Eliminar la orilla si la diferencia entre niveles de gris entre las regiones que separa es menor a cierto límite.
- Eliminar orillas cuando el perímetro de la región que separan es menor a cierto límite.

De esta forma, se van eliminando regiones “no significativas”, quedando aquellas que, en principio, representan partes u objetos de la imagen. Un ejemplo del proceso de crecimiento de regiones por eliminación de orillas se muestra en la Figura 6, donde algunas orillas se han eliminado de una etapa a la siguiente.

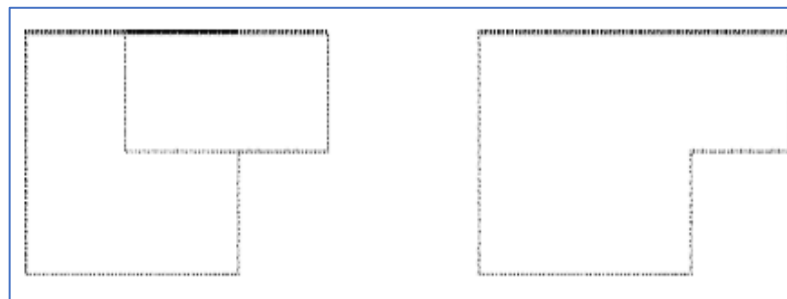


Figura 6. Método de búsqueda de espacios

Nota. Proceso de búsqueda de espacio de estado (Castrillo, 2017)

Proceso de crecimiento de regiones por eliminación de orillas. En la imagen izquierda, se muestran las orillas detectadas en una imagen, las cuales delimitan dos regiones. En la imagen derecha, se han eliminado algunas orillas (en la parte central), quedando solamente una región (Gomez, 2015).

Método basado en grafos

Esta técnica se basa en grafos que es una representación gráfica de las regiones y sus relaciones (regiones vecinas) denominada grafo de vecindad de regiones (*region adjacency graph*).

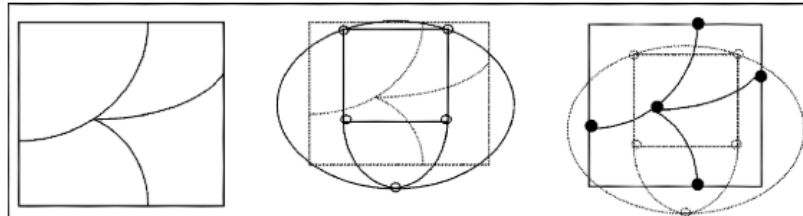


Figura 7. Búsqueda basada en grafos

Nota. Grafos de vecindad de regiones. De izquierda a derecha: (a) imagen con 4 regiones, (b) grafo de vecindad, (c) grafo dual (Castañeda, 2011)

Esta representación es muy útil para implementar algoritmos para agrupamiento de regiones, manteniendo ambos grafos actualizados. Dada una segmentación inicial, por ejemplo, en base a orillas, se utiliza el grafo de vecindad y su dual para el agrupamiento de regiones (Castañeda, 2011).

Segmentación por división-agrupamiento

La segmentación por división-agrupamiento, es la combinación de técnicas globales-división y técnicas globales-agrupamiento, se parte de una segmentación inicial obtenida por medio de las orillas, también de cómo se agrupan o dividen regiones, lo cual facilita la representación basada en estructura piramidal y/o árboles cuaternarios (Toro, 2015).

Método basado en pirámide

De principio la imagen se estructura en una forma piramidal, de forma que cada posible región (cuadrante) está formada de 4 subregiones. Para ello se representa la imagen a diferentes resoluciones, desde cierta resolución máxima hasta cierta resolución mínima, luego de la aplicación de su algoritmo, se obtiene una segmentación de n-regiones contiguas de la imagen (Sucar y Gómez, 2011).

Método basado en árboles cuaternarios

Tomando como base el método de división de agrupamiento, esta técnica se utiliza cuando se desea segmentar cierta región de interés, para ello se toma un nivel esperado de gris de dicha región, el cual puede ser estimado del histograma. Las medidas de cercanía al nivel esperado y de homogeneidad de la región, se basan en el uso de las estadísticas, como el promedio (μ) y desviación estándar (σ), de ello se definen algunas regiones identificadas por su uniformidad (Espín *et al.*, 2015).

Sistema experto para segmentación

Apelando a otros métodos, la semántica se hace presente para el proceso de segmentación, técnicas más sofisticadas basados en la representación explícita del conocimiento a la cual llamamos *sistemas basados en conocimiento o sistemas expertos*.

Sabemos que los sistemas expertos utilizan una representación explícita del conocimiento y técnicas de razonamiento para la solución de problemas específicos y estos se basan en reglas “Si *condiciones* entonces *conclusión*”, los cuales estarán representados en la base de conocimientos y que funcionarán mediante una Máquina de Inferencias (Cotos *et al.*, 1998).

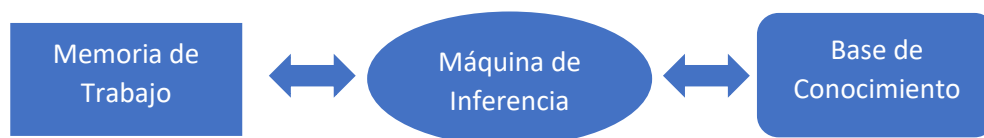


Figura 8. Arquitectura básica de un sistema experto

Nota. Segmentación basada en Sistemas Expertos (Cotos *et al.*, 1998)

La implementación de esta técnica, radica en la propuesta de Nazif y Levine, que desarrollaron un sistema experto para la segmentación de imágenes con la finalidad de que sea “genérico”, es decir, aplicable a cualquier objeto gráfico, la propuesta es combinar el conocimiento de técnicas de segmentación y del dominio (semántica) para lograr un sistema de segmentación más flexible y robusto. El sistema tiene 3 tipos de reglas agrupadas en 3 niveles jerárquicos (Dávora, 2015):

- a. Reglas de segmentación. Contiene reglas para análisis de regiones, análisis de líneas y análisis de reglas.
- b. Reglas de foco de atención. Seleccionan el área de la imagen a ser analizado primero.
- c. Reglas de estrategia. Seleccionan las reglas de foco de atención (estrategia) más adecuada de acuerdo al tipo de imagen.

1.2 Antecedentes

Las propuestas de investigación realizadas que se exponen a continuación, se eligieron por la variedad de aplicaciones en diferentes contextos y metodologías aplicadas en términos de algoritmos, resultados y por lo actualizado de su publicación.

1.2.1 Nacionales

La investigación “Sistema de digitalización y estructuración de información clínica con técnicas de reconocimiento óptico de caracteres y procesamiento del lenguaje natural” de (Aranzábal & Barrientos, 2018), permita tanto la digitalización como la estructuración de registros clínicos a partir de apuntes escritos por el doctor de forma tradicional y por sus ya conocidos probables errores de lectura, propone una solución para el proceso de digitalización y a la vez la clasificación internacional de enfermedades (CIE-10) aplicando distintas técnicas tradicionales de visión por computador para realizar el preprocesamiento como dilatación, erosión, normalizado, entre otras, sobre imágenes obtenidas de la base de datos NIST SD19 las cuales fueron utilizadas por el algoritmo k-nearest neighbors para que se pueda realizar el reconocimiento óptico de caracteres, cuyos resultados permitieron la clasificación de términos médicos con letra imprenta partiendo de su digitalización hasta la categorización de enfermedades en base al ICD-10, además concluye que el reconocimiento de caracteres tiene buen funcionamiento por lo que el clasificador kNN demuestra un gran potencial.

Quiroz (2019) con su trabajo de tesis “Adquisición e implementación de un sistema de digitalización de documentos y gestión documental” se propone un sistema de digitalización de documentos y gestión documental, y poder ofrecer servicios para digitalizar documentos que le permitan a las empresas que cuentan con gran

cantidad de documentos físicos, poder administrar y gestionar con mayor eficiencia los documentos que son materia de consulta. Por ello para asegurar la correcta captura de los documentos físicos y cuidar la trazabilidad de los documentos desde el inicio de los procesos, nos basamos en una metodología de trabajo recomendada por los líderes mundiales del “Document Imaging” por brindar seguridad, integridad total del archivo electrónico, acceso inmediato a su información, reducción de espacio, información compartida, seguridad electrónica y legalidad. Logrando la gestión del servicio de digitalización de documentos siguiendo los estándares solicitados, dicha plataforma permite administrar los documentos e indexarlos.

El área de la salud no está ajeno a la aplicación de técnicas de reconocimiento de patrones, por ello Chancafe y Mazabel (2016) con su investigación “Detección Automática de Caries utilizando reconocimiento de patrones en placas radiográficas”, detectan automáticamente caries en una placa radiográfica dental, donde aplicaron técnicas de segmentación de imágenes como Binarización y Otsu, también filtros de reducción de ruido como Blur, Gaussian Blur Media Blur y Filtro Bilateral, todo ello permitió llegar a las siguientes conclusiones: Para el pre-procesamiento de la imagen se aplicaron los filtros Blur, Median Blur, Laplaciano de Gauss y Filtro Bilateral, posteriormente la ecualización del histograma para luego pasar a ser segmentadas con el método OTSU y para la detección automática de imágenes se aplicaron los algoritmos backpropagation y naive bayes, donde se obtuvo un tiempo de demora de procesamiento de 31 milisegundos para el algoritmo backpropagation y un tiempo de 110 milisegundos para naive bayes.

El reconocimiento de patrones, también nos lleva al planteamiento de algoritmos como lo destaca (Ortiz, 2018) en su tesis “Análisis de algoritmos para el reconocimiento automático de caracteres manuscrito antiguos”, para ello aplicó algoritmos de clasificación como Vecino más Cercano que aplica la distancia euclidiana, el algoritmo de K-Means y una Red Neuronal de Kohonen, concluyendo que el algoritmo de Vecino más Cercano y K-Means proporcionan un mejor método más eficiente para reconocer caracteres, logrando un 92 % de reconocimiento.

La biometría se hace presente con la investigación “Reconocimiento y detección biométrico basado en imágenes de huellas digitales” de (Chambi, 2016) donde implementa un sistema de reconocimiento y detección biométrico de personas mediante la huella dactilar utilizando Matlab mediante la metodología de procesos enlazados de rastreo de líneas utilizando conceptos de conectividad entre puntos de imagen, algoritmo que se enfatiza en el rastreo de la detección de puntos característicos de líneas. Las líneas delgadas se obtienen mediante un algoritmo de esqueletización obteniendo las minucias sobre las regiones de la cresta de la huella. Los experimentos realizados han demostrado que el sistema implementado proporciona una identificación fiable.

En los procesos de identificación personal a través del DNI, se suelen presentar inconvenientes al momento de requerirlo, Neira (2017) en su trabajo de tesis “Sistema de lectura automática del número de DNI utilizando visión artificial”, propone la utilización de un sistema de lectura automática utilizando visión artificial, bajo ciertas condiciones de fondo e iluminación, logrando una captura a color para poder aplicar algoritmos de mejoramiento, segmentación y binarización. Luego de ello logró el reconocimiento de los números con una alta eficiencia a una distancia de captura de 15cm de la escena, a pesar e del uso de una webcam de medianas prestaciones en cuanto a resolución.

Una de las áreas aún en investigación es el Reconocimiento Óptico de caracteres (OCR) como arte del Reconocimiento de Patrones, es por ello utiliza esta técnica para el desarrollo de su investigación bajo el título “Sistema de reconocimiento automático de números utilizando similaridad del coseno para visión artificial” de (Serrato, 2017), donde implementa un sistema que lee los píxeles de cada número, los agrupa y promedia en píxeles, al que denomina zoning y conlleva a reducir los datos sometidos a comparación a una de las plantillas que debe corresponder y efectuar este proceso con la aplicación de la fórmula de Similaridad del Coseno, cuyo resultado se presenta en un dicotomía, lo cual implica que si es cercano a 0 las imágenes de los números comparados no son iguales y si es cercano a 1 se trata de dos imágenes del mismo número. Como resultado de este método, concluye con éxito el reconocimiento de letra impresa y a mano con una similitud mayor a 0.85, pese a que sometió a distorsiones e inclinaciones de los números.

La agricultura no está ajeno al uso de la tecnología del procesamiento de imágenes, es por ello que (Castro, 2019) en su trabajo de investigación “Aplicación de algoritmos inteligentes para reconocimiento automático de enfermedades foliares de cultivo de palta” aplica cuatro algoritmos inteligentes como Naive Bayes, Random forest, Redes Neuronales y Support Vector Machines, con la finalidad de determinar el más eficaz para el reconocimiento de imágenes de la enfermedad foliar de palta. Llegando a la conclusión de que el algoritmo Máquina de Soporte Vectorial tiene mayor asertividad en un 96% en el reconocimiento de enfermedades foliares del cultivo de palta.

El mundo de la falsificación de billetes, es una nos los delitos más delicados en el mundo, por ello la aplicación de software que ayuden a la detección de falsificaciones. Estela (2017) plantea una alternativa mediante su investigación “Análisis Comparativo de algoritmos de reconocimiento de imágenes por descriptores de color para la Identificación de billetes”, para ello previa captura digital de la imagen del billete, lo somete a algoritmos por color RGB-Verde donde extrae las características por color RGB con la finalidad de identificar los patrones rojo, verde, azul y alfa, luego los somete a una clasificación y se comparan entre el billete verdadero y falso obteniendo con éxito una precisión promedio de 63%.

La búsqueda de textos por índice de contenido digitalizado, representan una gran ayuda, por ello (Fuentes, 2018) desarrollo un algoritmo basado en OCR el cual le facilitó el proceso de extracción del índice de los libros, llegando a un incremento máximo de 70.0% y un promedio de 25,5688% de respuestas válidas a temas buscados, también se llegó a comprobar que el porcentaje promedio de las palabras extraídas es superior al 98.8%, por lo tanto se afirmó que la extracción del total de caracteres de una imagen se extrajo un equivalente al 100% de los caracteres existentes en una imagen y así la rapidez en la búsqueda de un material bibliográfico se hace más eficiente.

1.2.2 Internacionales

El trabajo de investigación realizado por Carvajal (2018) utiliza la técnica OCR, mediante la aplicación de algoritmos basados en Openalpr que ejecuta técnicas de las librerías de Opencv, desarrollado en Javascript, bajo un correcto entrenamiento y configuración demuestra que es posible reconocer las patentes chilenas o de cualquier tipo de patente a nivel mundial. El entrenamiento de esta herramienta debe acompañar un banco de al menos 3000 o más imágenes. Trabajó con 342 imágenes obteniendo una confianza 97.5% como lo demuestran también en (Moretti *et al.*, 2016).

Los certificados de identidad basados en huellas dactilares, son los más usados en la criminalística en el ámbito policial que considera uno de los métodos más seguros y asequibles y, por tanto, ampliamente utilizado. (Gonzales *et al.*, 2016) en su trabajo de “Gestión y reconocimiento óptico de los puntos característicos de imágenes de huellas dactilares” analiza varias técnicas de extracción y recomienda la técnica clásica un AFIS (Automated Fingerprint Identification System), la cual basa esta elección en lo rápida que es a la hora de extraer los puntos característicos y además, aunque puede presentar un porcentaje algo menor en comparación a otras técnicas, esta disminución es poco significativa y permite trabajar con garantía con un rango de calidades de huellas más amplio que otras técnicas.

El proceso de consumo de gas mediante el registro de su contador, mediante la lectura del número de referencia y del contador de consumo, se logró gracias a la investigación de (Martín y Fernandez, 2015) frente a la necesidad planteada por la compañía Madrileña Red de Gas de Madrid con el fin de automatizar el proceso de lectura de contadores. Para ello presentaron una aplicación de reconocimiento OCR, donde se basaron en la arquitectura Modelo-Vista-Controlar, contemplando las fases de implementación con el uso del lenguaje de programación JAVA con sus librerías JMathPlot, Imshow y OCR, verificadas por la carga de imagen, localización de interés escala de grises, binarización y lectura de caracteres, concluyendo que siguieron el ciclo de vida típico de cualquier aplicación con énfasis en la binarización, con respecto a la fiabilidad de detectó en

aproximadamente un 85% de veces en los contadores utilizados y los errores se detectaron por efectos de la falta de o exceso de luz.

La neurociencia se hace presente mediante el reconocimiento de rostros y este trabajo de investigación “Patrones de fijación y seguimiento visual involucrados en el reconocimiento de rostros en niños prematuros del Programa Canguro del Hospital San Ignacio de Bogotá” de (Latorre, 2018) donde la maduración y organización de los patrones fisiológicos que participan en la construcción del desarrollo visual, cognitivo y social temprano, partieron del objetivo de describir los patrones de motilidad ocular involucrados en el reconocimiento de rostros y de rostro materno en lactantes prematuros por medio del Eye Tracker, encontrando aportes significativos, dentro de los cuales se observó que a los 2 meses de edad los bebés sí presentan una preferencia por la imagen del rostro de su madre respecto a otros estímulos no faciales. Se observaron diferencias madurativas en las características fisiológicas de los movimientos sacádicos y microsacádicos a los dos y a los tres meses de edad corregida.

El trabajo de investigación denominado “Visión por computadora: identificación, clasificación y seguimiento de objetos” de (Cantero y Martinez, 2016) desarrollan e implementan un sistema de visión por computadora, cuyo propósito es la identificación de cierto grupo de objetos previamente “enseñados” al sistema, para su posterior clasificación y seguimiento a través de técnicas de procesamiento digital de imágenes y de redes neuronales artificiales, donde extraen los patrones de los objetos en estudio mediante la técnica de segmentación denominada desplazamiento de a media (Mean-Shift) y el tipo de red neuronal utilizado es el perceptrón multicapa y como algoritmo de entrenamiento usaron Levenberg-Marquardt. Los resultados fueron satisfactorios con una precisión de la red neuronal artificial mayor al 98% y para el seguimiento se obtuvo resultados muy buenos para las escenas en las cuales no existen oclusión.

La necesidad de registrar información, siempre fue una de las inquietudes del humano a lo largo de su existencia, gracias a la tecnología se puede almacenar grandes volúmenes de información, más aún si se trata de digitalizar información físicamente documentada (Csori y Martínez, 2017); en su tesis “Implementación de

un prototipo para extraer información de documentos por medio de plantillas a través de técnicas de reconocimiento de patrones y OCR” analizan el funcionamiento de OCR y la creación de plantillas para la delimitación del contenido innecesario en los documentos, de esta forma acelerando el procesamiento del programa. Crearon un prototipo de reconcomiendo de patrones, con la aplicación de técnicas como distancia de Levenshtein, redes bayesianas, redes neuronales, concluyendo proponer un método para mejorar su ejecución mediante las plantillas que delimitan el área de proceso y la efectividad de los OCR incrementa considerablemente, eliminando así procesos tradicionales que resultan ser innecesarios.

García *et al.* (2016) realizan la clasificación de un sistema de reconocimiento bajo la investigación “Clasificación y reconocimiento de patrones” realizando una revisión de las métricas y métodos más habituales de evaluación del rendimiento de un clasificador, mostrando el ciclo completo de diseño, finalmente describen tres modelos de aprendizaje los enfoques de clasificación supervisada, regresión y clasificación no supervisada.

La investigación bajo la denominación “Desarrollo de algoritmos de reconocimiento de placas de vehículos” de (Tasigano y Corrales, 2016) tiene por objetivo el desarrollo de un algoritmo utilizando el programa LabView y su toolkit de visión artificial, el cual localiza la placa vehicular y reconoce lo caracteres y números mediante la búsqueda de patrones, logrando la identificación y validación con una base de datos, llegando a concluir que la cámara usada con filtro IR no altera su funcionamiento pese a que se le sometió a variaciones de luz, cambios climáticos como sol, lluvia o temperatura además determinan que la distancia entre el vehículo y la cámara es un factor importante el momento de la búsqueda de patrones y finalizando que el reconocimiento óptico de caracteres OCR es el más ideal.

La investigación planteada por Caffetti (2020) titulada “Reconocimiento y clasificación de patrones en imágenes de microscopia, parametrizadas según la Técnica de Micronúcleos” con el objetivo de diseñar una herramienta bioinformática capaz de colaborar con los profesionales del Laboratorio de



Citogenética General y Monitoreo Ambiental de la UNaM-IBS-CONICET para la detección de daños celulares, para ello analiza diferentes técnicas de clasificación, segmentación y extracción de contornos de imágenes digitales. Logrando que mediante el modelo VGG16MicroTesis con el conjunto de datos COCO (Pinheiro *et al.*, 2016), modificando las imágenes de entrada en la carpeta DATA.

CAPÍTULO II

PANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

Los procesos de calificación actual, en los diferentes exámenes de pregrado, postgrado y el recojo de información a través de encuesta o consultas que, hacen uso de la tecnología con la finalidad de optimizar, sobre todo tiempo de emisión de resultados, son solo sistemas que hacen uso de herramientas tecnológicas que hasta cierto punto ‘amarran’ o mantienen dependientes a los usuarios de sus proveedores en términos de soporte tecnológico de procesamiento tales como hardware, software y suministros que solo ellos los pueden proveer.

Por tanto, la dependencia originada por dichos requisitos no es otra cosa que obligar a los usuarios a NO desarrollar sistemas alternos que de alguna forma garanticen los objetivos de sus procesos de calificación. Sin el ánimo de descalificar dicho soporte, ya que ofrecen calidad y seguridad en sus recursos, los costos son altos por la impresión de sus formularios (suministros) y los equipos (hardware).

Uno de los principales problemas en cuanto el soporte impreso de los formularios, es el costo de ellos y las especificaciones en la calidad del papel ya que de ellos depende la lectura óptica de los mismos en sus equipos de reconocimiento óptico de patrones.

2.2 Enunciados del problema

a) Problema general

¿Es posible implementar un algoritmo de reconocimiento óptico de patrones digitalizados que optimice los procesos de calificación?

b) Problemas específicos

¿El algoritmo propuesto optimiza los procesos de reconocimiento de patrones, para el proceso de calificación?

¿La metodología aplicada por detección de bordes y escala de grises para el sistema de reconocimiento óptico de patrones digitalizados garantiza el proceso?

2.3 Justificación

Los procesos de calificación actualmente utilizados no han sufrido mayor cambio en relación al procedimiento y tiempo de procesamiento, somos conocedores que los sistemas usualmente usados son: La calificación por medio de uso de lectoras ópticas, que en nuestro medio, instituciones como la Universidad Nacional del Altiplano, Universidad Andina de Juliaca, Universidad Nacional de Juliaca y gran parte de universidades e instituciones públicas y privadas usan estos sistemas de lectoras ópticas y de allí podemos decir con razón que dependen de sus tarjetas y restricciones que estos equipos y proveedores de suministros ofrecen. Otro sistema usualmente usado y por lo general por instituciones o procesos de calificación relativamente pequeños en términos de cantidad a calificar, es los sistemas de calificación manual mediante plantillas, sistema que por demás no ofrece la rapidez y además está sujeto a calificaciones subjetivas o errores involuntarios.

La solución que proponemos es optimizar en varios aspectos como el económico, el cual será evidente que el gasto realizado en el adquisición de suministros y equipos compatibles con estas son de alto costo, mientras que nuestra propuesta es posible la impresión usando varias tecnologías hasta uso de impresoras domésticas, en relación a la tecnología de digitalización, se puede lograr desde un móvil o celular de gama media o superior hasta escáner de trabajo pesado (alta velocidad de digitalización).

Otro aspecto relevante es la garantía de la calificación y la demostración del mismo, es usual que estos procesos son sensibles, "ver para creer" por ello la propuesta de investigación deja abierta la posibilidad de publicar las fichas digitalizadas con fines de comprobación de lo calificado.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Desarrollar e implementar un sistema de reconocimiento de patrones ópticos digitalizados para los procesos de calificación en general.

2.4.2 Objetivos específicos

- Analizar los requerimientos algorítmicos para el sistema de reconocimiento óptico de patrones.
- Aplicar la metodología por detección de bordes y escala de grises para el sistema de reconocimiento óptico de patrones digitalizados.
- Optimizar el funcionamiento y tiempo de proceso del sistema de reconocimiento óptico de patrones.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Puno, Perú, ubicado en los 15°50'00" latitud sur y 70°02'00" longitud oeste, a una altitud de 3810 msnm.

3.2 Población

Se utilizó 500 fichas previamente marcadas.

3.3 Muestra

Se utilizó 500 fichas previamente marcadas.

3.4 Método de investigación

a) Metodología de la investigación

Considerando las características de la investigación, posee un enfoque cuantitativo por representar un conjunto de procesos secuenciales y probatorios, donde cada etapa precede a la siguiente y no podemos eludir pasos (Sampieri, 2014).

b) Tipo de diseño investigación

En relación al diseño de la investigación, trabajamos bajo un diseño experimental porque tenemos la necesidad de manipular intencionalmente la variable principal para analizar sus posibles resultados y esto dentro de una acepción particular del término experimento que refiere a un estudio en que se manipula intencionalmente una o más variables independientes, en nuestro caso la variable ficha o tarjeta, para

analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre la variable dependiente, en nuestro caso archivo de resultados (Sampieri, 2014).

La investigación se realizó bajo las siguientes etapas:

- Se utilizó 500 fichas previamente marcadas, distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 1

Calidad de impresión

| BLOQUE | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|---------------|---------------------|-----------------|
| 1 | Impresión digital | 300 |
| 2 | Impresión offset | 150 |
| 3 | Impresión domestica | 50 |
| Total | | 500 |

Nota. Distribución de impresión de fichas por calidad

- Marcado manual de las fichas ópticas a digitalizar
- Captura digitalizada de las fichas en formato **.jpg** (Joint Photographic Experts Group) que, por sus características en peso y portabilidad garantizan la compatibilidad con muchas aplicaciones.
- Migración de las fichas digitalizadas al sistema de reconocimiento.
- Procesamiento de las fichas
- Reconocimiento de patrones
- Resultados

La base de la metodología, pasa por la metodología de procesamiento de imágenes basado en la siguiente estructura que nos solucionó nuestro problema.

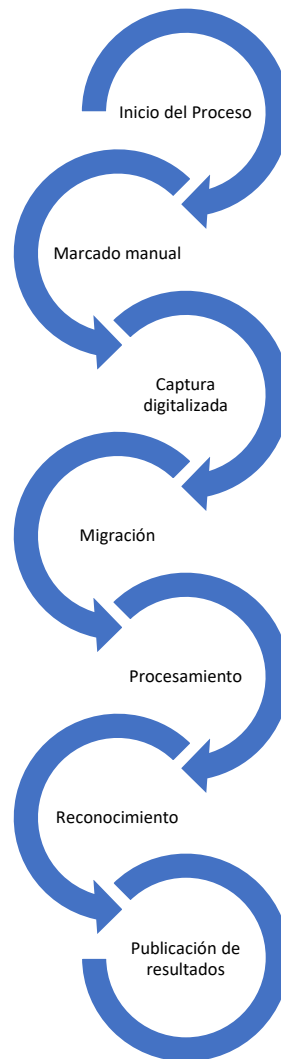


Figura 9. Adaptación del modelo de desarrollo

Nota. Proceso secuencial de desarrollo

Basado en la aplicación de la metodología de procesamiento de imágenes por la recomendación de MathWorks® (MathWorks, 2021), consideramos que es la más adecuada y exitosa, donde sus principales características están basadas en:

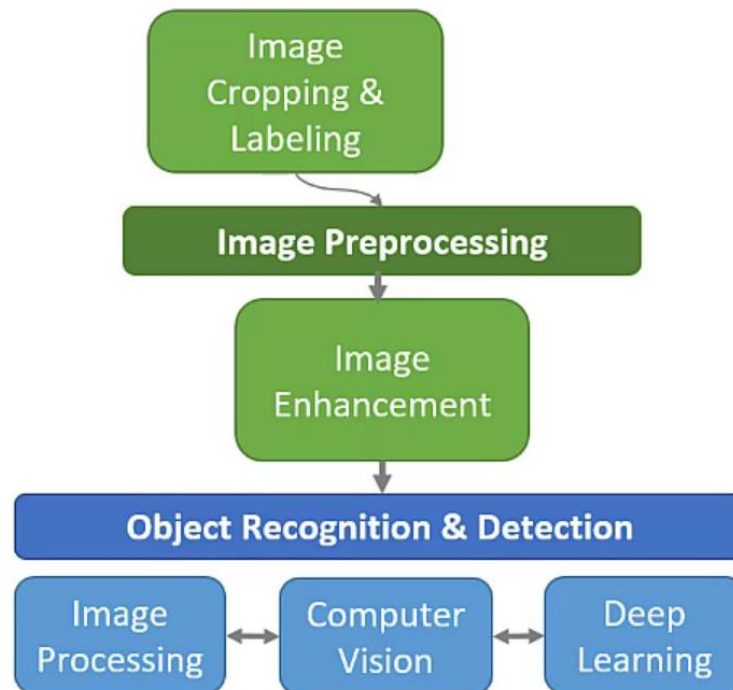


Figura 10. Modelo de Procesamiento de imágenes

Nota. (MathWorks, 2021)

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1 OE1: Análisis de los requerimientos algorítmicos para el sistema de reconocimiento

Pasa por el proceso de identificación de los requerimientos físicos y lógicos del algoritmo

PROCESAMIENTO:

- Digitalización de fichas (escaneo), mediante:
 - Printer Epson l4160 (33 ppm)
 - Smartphone iPhone XS Max
 - Smartphone Huawei Lite P20
 - Scanner HP i5850 (210 ppm)

- Scanner Canon DR-M1600 (120 ppm)
- Scanner Epson DS-970 (85 ppm)
- Scanner Kodak S3120 (120 ppm)
- Respecto a la resolución

La importancia de la nitidez de la imagen digitalizada pasa por la resolución mínima aceptable para todo el proceso, por ello se sometió a diferentes digitalizaciones bajo los siguientes parámetros:

Tabla 2

Pruebas de resolución

| Imagen | Resolución |
|---------------|-------------------|
| Prueba 1 | 150ppp |
| Prueba 2 | 200ppp |
| Prueba 3 | 300ppp |

Nota. Puesta a prueba y elección de la calidad de captura

- Detección de objetos

Es importante determinar la existencia de un objeto a digitalizar, por ello se propone el algoritmo que permite definir el área mediante:

Declaración de objetos más importantes

Definir objetos a analizar:

color de fondo: COLOR_FONDO

mapa de bits: BMP_MAP

número de objetos: NUM_OBJECT

localización del objeto: OBJECT_LOCATION

área a analizar: AREA_ANALIZE

Definir área no analizada; de igual forma es imprescindible tener identificado el color y/o escala de color del fondo mediante:

Color de fondo: COLOR_FONDO

- Encuadre pre proceso

El proceso de digitalización, sea cual fuere el dispositivo utilizado es posible de cometer algún tipo de error de encuadre, lo que motivó a la creación del algoritmo de encuadre, que se ocupa de tomar como referencia las coordenadas de inicio y fin, representadas mediante:

Definir coordenadas de los ejes

(x_0 , y_0) como coordenada inicial

(x_1 , y_1) como coordenada final

- Fijar la imagen a analizar

Ya reconocido el entorno, se procede a identificar la imagen u objeto a analizar con sus respectivas características o cualidades como: ancho y largo y establecer las coordenadas de ubicación, para ellos se propuso el siguiente algoritmo:

Localizar imagen identificada

Segmento de imagen: AMP_SEG(ancho de BMP_MAP, largo de BMP_MAP)

Área de análisis: Set_AREA(coordenadas x_0 , y_0 , ancho, largo)

Localización exitosa el objeto

Objeto localizado: OBJECT_COORD

temp.x0 = -1

temp.y0 = -1

temp.x1 = -1

temp.y1 = -1

3.5.2 OE2: Aplicación de algoritmo de detección de bordes y escala de grises para el proceso de reconocimiento

Para este proceso se procede a la detección de bordes, esto mediante el recorrido de los bordes para delimitar su plena identificación mediante:

Análisis de objeto encontrado

Recorrer desde: Set_AREA.x0, Set_AREA.y0 hasta Set_AREA.x1, Set_AREA.y1

Objeto_encontrado = objeto_encontrado + 1

Objeto_localizado(objeto_encontrado - 1).x0 = x

Objeto_localizado(objeto_encontrado - 1).y0 = x

Objeto_localizado(objeto_encontrado - 1).x1 = x

Objeto_localizado(objeto_encontrado - 1).y1 = x

Fin del recorrido

- Verificación de la calidad de marcado

Vale aclarar que el marcado de las fichas a digitalizar se usó diferentes medios como:

- Lápiz
- Lapicero tinta líquida (azul, negro y rojo)
- Lapicero tinta seca (azul, negro y rojo)
- Plumón (colores varios)

El propósito es, con la finalidad de someter a diferentes niveles de contrastes y calidad del marcado y ello llevó a la verificación y uniformización de colores y escala de grises y proceder en algunos casos a la corrección de la escala de grises mínima requerida y para ello se toma como referencia la Escala cromática de Munshell (Herrera, 2015):

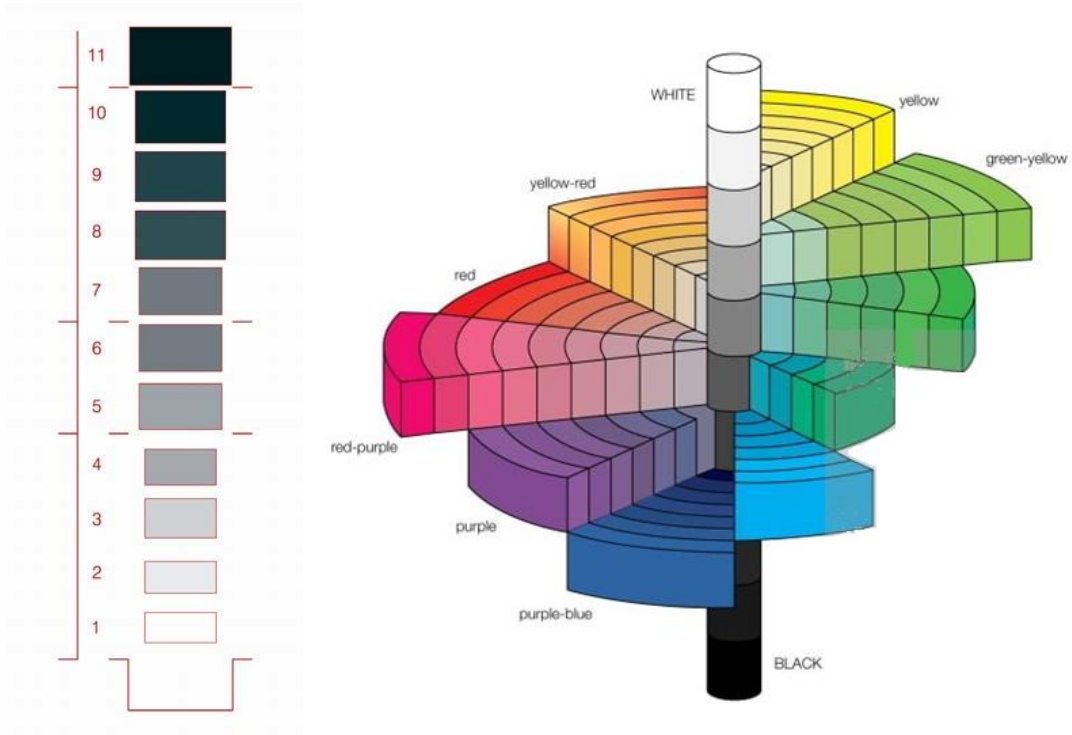


Figura 11. Escala cromática de grises

Nota. Imágenes de la escala cromática de Munshell (Herrera, 2015)

El algoritmo propuesto necesita al menos que cumpla con la escala nivel 4.

Para el proceso de conversión, se usó como material de referencia la documentación del Programa de manipulación de imágenes GIMP (Gimp.org, 2020) el cual propone 3 algoritmos representados por sus fórmulas de conversión, las cuales son:

- **Lightness:** Método que calcula la media de los colores externos

$$\frac{\max(R, G, B) + \min(R, G, B)}{2}$$

- **Average:** Media de cada uno de los colores que componen la imagen

$$\frac{R, G, B}{3}$$

- **Luminosity:** Media ponderada que considera la forma en que los humanos percibimos los colores

$$0.21 (R) + 0.71 (G) + 0.07 (B)$$

Algoritmo aplicado:

Para average:

```
def color2gray_average(image):  
    if np.rank(image) == 3:  
        image_gray = np.sum(image.astype(np.int), axis=2) / 3.0  
    elif np.rank(image) == 2:  
        image_gray = image  
    else:  
        raise NameError('The image 32rea32 gray or color.')
```

return image_gray

3.5.3 OE3: Optimizar el Optimizar el funcionamiento y tiempo de proceso del sistema de reconocimiento óptico de patrones

Alcanzado los dos primeros objetivos, ya estamos preparados para realizar el proceso de reconocimiento, considerando la estabilidad de encuadre, uniformización, conversión a la escala de grises y binarización, luego se procedió a la validación del objeto reconocido mediante el siguiente algoritmo:

Validación del objeto encontrado (Algoritmo de la vecindad)

Si el BMP_MAP = COLOR_FONDO salir de la validación

Si x es menor objeto_localizado (cont - 1).x0 entonces objeto_localizado(cont - 1).x0 = x

Si x es mayor objeto_localizado (cont - 1).x1 entonces objeto_localizado(cont - 1).x1 = x

Si y es menor objeto_localizado (cont - 1).y0 entonces objeto_localizado(cont - 1).y0 = x

Si y es mayor objeto_localizado (cont - 1).y1 entonces objeto_localizado(cont - 1).y1 = x

Recorrido:

Obtener_objeto(x - 1, y - 1, cont)

Obtener_objeto(x, y - 1, cont)

Obtener_objeto(x + 1, y - 1, cont)

Obtener_objeto(x - 1, y, cont)

Obtener_objeto(x, y, cont)

Obtener_objeto(x + 1, y, cont)

Obtener_objeto(x - 1, y + 1, cont)

Obtener_objeto(x, y + 1, cont)

Obtener_objeto(x + 1, y + 1, cont)



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de digitalización de patrones ópticos, fue validado por una serie de algoritmos como la generación de patrones de referencia, formato, resolución recomendada, conversión a escala de grises, binarización, definición de sectores a digitalizar y llegar al proceso de calificación y evaluación de resultados de los algoritmos que representó el proceso final de la validación del trabajo de investigación, teniendo como evidencia los archivos finales en texto plano.

4.1 Patrón de referencia

Considerado como la ficha que será sujeto de digitalización, la misma que puede ser pre impresa en cualquier material (digital, offset y/o doméstica).

Para el proceso se usó fichas con impresión digital (usadas por la UNA Puno) y fichas diseñadas e impresas domésticamente (impresoras de uso doméstico).

Figura 12. Modelo de impresión digital

Nota. Ficha de impresión digital (Polysistemas - Gestión documental omnicanal, 2021)

Figura 13. Ficha de impresión doméstica

Nota. Modelo de ficha en impresora de uso doméstico u oficina

4.2 Proceso de digitalización usando dispositivos de captura

Para el proceso de captura se usó diferentes tipos de dispositivos de captura como:

- Printer Epson l4160 (33 ppm)
- Smartphone Iphone XS Max
- Smartphone Huawei Lite P20
- Scanner HP i5850 (210 ppm – hard work)

Los mismos que por sus características nos permitió obtener archivos con los formatos necesarios para la investigación.

Es necesario aclarar que los dispositivos de captura que usan varias universidades y otras instituciones son mediante la OpScan (modelo 7, 8 y/o 10) que por sus características solo realizan capturas de patrones marcados, mas no la ficha como imagen.

Tabla 3

Comparación de tiempos en digitalización

| Tipo de Escáner | Velocidad de Escaneo |
|------------------------|-----------------------------|
| OpScan 7 | 70 ppm |
| OpScan 8 | 80 ppm |
| OpScan 10 | 100 ppm |
| Printer Epson l4160 | 33 ppm |
| Scanner HP i5850 | 210 ppm |

Nota. Diferentes velocidades de captura

4.3 Proceso de normalización

4.3.1 Formato

Durante el proceso de digitalización se tuvo diferentes formatos como BMP, JPG, TIFF, PNG entre otros, sin embargo por sus características de versatilidad y posibilidad de comprimirlos hasta 10 veces más pequeños (EcuRed, 2021) que otros formatos, se tomó la decisión de usar el formato JPG (desarrollado por el grupo *Joint Photographics Experts Group*) además nos garantiza la plena compatibilidad de exportar a otros sistemas de tratamiento de imágenes digitalizadas.

4.3.2 Resolución

Inicialmente se trabajó con 3 formatos:

- 300 ppp
- 200 ppp
- 150 ppp

Luego de la prueba de migración y facilidad de tratamiento de la imagen escaneada se eligió el de 200ppp, el mismo que garantiza el tratamiento para el proceso de digitalización por parte de nuestro sistema, también una de las razones relevantes fue el tiempo de proceso de las 500 fichas, cuyos resultados fueron:

Tabla 4

Tiempos de reconocimiento

| Resolución | Tiempo de procesamiento |
|-------------------|---------------------------------|
| 300 ppp | 0.15 centésima de segundo |
| 200 ppp | 0.07 centésimas de segundo |
| 150 ppp | Sin proceso por baja resolución |

Nota. Comparación en los procesos de procesamiento

4.3.3 Identificación de los objetos a digitalizar

La aplicación del algoritmo denominado **Algoritmo del buen vecino**, nos ayudó a identificar los diferentes objetos mediante el reconocimiento por pixel mediante el siguiente código:

```

Private Sub GetObjects(ByVal x As Integer, ByVal y As Integer, ByVal objCount As Integer)
    If BMP_MAP.GetPixel(x, y) = COLOR_FONDO Then Exit Sub
    If MAP_SEG(x, y) <> 0 Then Exit Sub
    MAP_SEG(x, y) = objCount
    'Definiendo 37rea de la imagen
    If x < OBJECT_LOCATION(objCount - 1).x0 Then OBJECT_LOCATION(objCount - 1).x0 = x
    If x > OBJECT_LOCATION(objCount - 1).x1 Then OBJECT_LOCATION(objCount - 1).x1 = x

    If y < OBJECT_LOCATION(objCount - 1).y0 Then OBJECT_LOCATION(objCount - 1).y0 = y
    If y > OBJECT_LOCATION(objCount - 1).y1 Then OBJECT_LOCATION(objCount - 1).y1 = y

    'Recorriendo imagen
    GetObjects(x - 1, y - 1, objCount)
    GetObjects(x, y - 1, objCount)
    GetObjects(x + 1, y - 1, objCount)

    GetObjects(x - 1, y, objCount)
    GetObjects(x + 1, y, objCount)

    GetObjects(x - 1, y + 1, objCount)
    GetObjects(x, y + 1, objCount)
    GetObjects(x + 1, y + 1, objCount)
End Sub

```

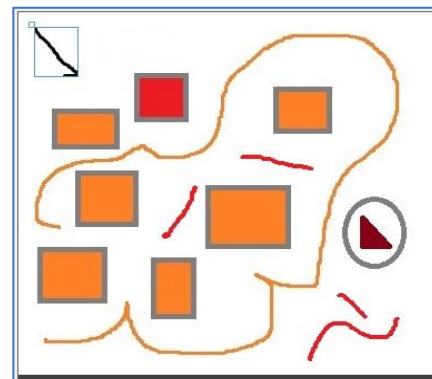
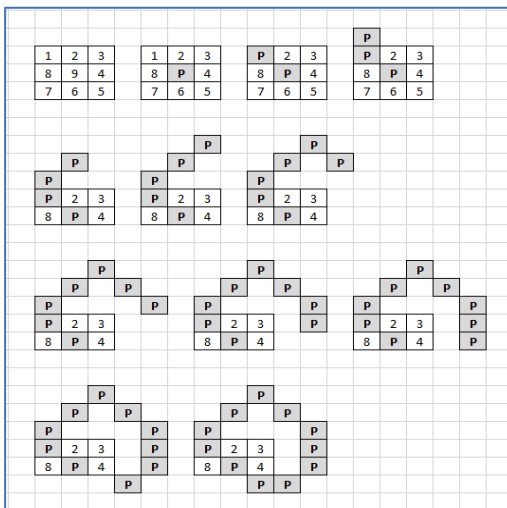


Figura 14. Algoritmo de reconocimiento

Nota. Proceso de recorrido del algoritmo de reconocimiento pixel por pixel

4.3.4 Encuadre

En relación al encuadre, lo denominamos así al proceso de colocar en la orientación correcta la ficha a digitalizar, esto nos permitió optimizar el proceso de reconocimiento mediante el algoritmo necesario implementado.

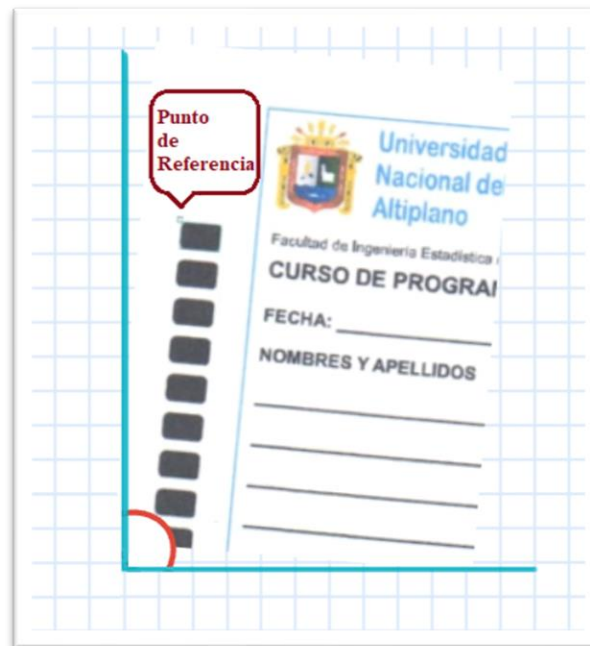


Figura 15. Posible escaneo erróneo

Nota. Identificación del ángulo errónea de escaneo

Para el proceso de encuadre (orientación correcta) se usó el siguiente procedimiento y algoritmo:

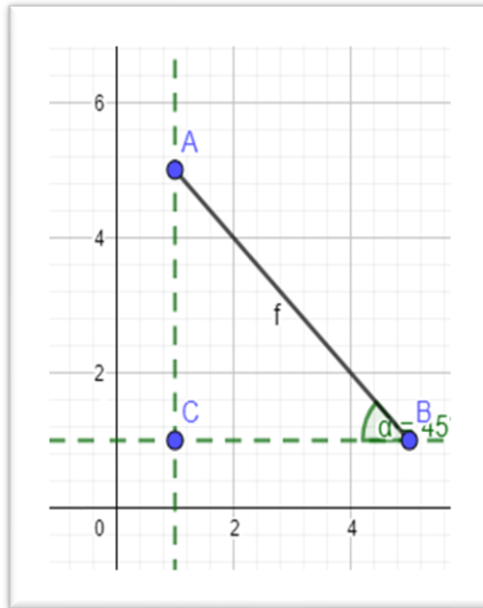


Figura 16. Método clásico de cálculo del ángulo

Sea: $A(x_0, y_0)$, $B(x_1, y_1)$

$$m = \frac{x_1 - x_0}{y_1 - y_0}$$

$$m = \tan \alpha$$

$$\alpha = \tan^{-1}m$$

Si M es negativo girar a la derecha ($90^\circ - \alpha$)

Si M es positivo girar a la izquierda ($90^\circ - \alpha$)

4.3.5 Conversión color a binario (blanco o negro)

Para el proceso de conversión de color a binario (B/N), sometimos a la conversión a escala de grises tomando como referencia la Escala Cromática de Munshell, donde se puede distinguir 11 niveles, de cual para dar como válido el objeto debe al menos cumplir la escala de nivel 4 o superior.

La conversión de imagen a Color a Escala de grises se aplicó el método del promedio o Average:

$$\frac{R, G, B}{3}$$

Una vez identificado el nivel de escala aceptable, procedemos a convertirlo a binario (B/N) mediante:

Tabla 5

Equivalencia de escala de grises a escala binaria

| Escala de grises | Conversión binaria (B/N) |
|------------------|--------------------------|
| 11 | |
| 10 | |
| 9 | |
| 8 | |
| 7 | 1 |
| 6 | |
| 5 | |
| 4 | |
| 3 | |
| 2 | 0 |
| 1 | |

Nota. Tabla de equivalencia de la escala cromática y de grises a la escala binaria para el procesamiento

Algoritmo de conversión a escala de grises y binario:

```
For y = 0 To imgBinary.Height - 1
  mPixel = imgBinary.GetPixel(x, y)
  R = mPixel.R
  G = mPixel.G
  B = mPixel.B
  mGray = (R + G + B) / 3
  If mGray < (11 - Nivel_Use) * Nivel_color Then
    'marcado valido
    newColor = Color.FromArgb(0, 0, 0)
    imgBinary.SetPixel(x, y, newColor)
    If x < ReferenceWidth Then
      ReferenceUmbral(x) = ReferenceUmbral(x) + 1
      If ReferenceUmbral(x) > mMayorValue Then mMayorValue =
ReferenceUmbral(x)
    End If
  Else
    'no marcado
    newColor = Color.FromArgb(255, 255, 255)
    imgBinary.SetPixel(x, y, newColor)
  End If
Next
```

4.3.6 Umbral de referencia

Otro de los aspectos relevantes es el proceso de reconocimiento del sector que nos sirve para identificar las marcas realizadas sobre las fichas, el cual lo llamamos Umbral de Referencia, este se caracteriza por el grupo de marcas cuya constante es el tamaño y distancia entre las marcas-patronos, también determinar la posición de dicha área, siendo este al lado izquierdo o derecho de la ficha.



Figura 17. Umbral de referencia

Nota. Identificación del Umbral de referencia para el proceso de encuadre de la ficha

El propósito de la identificación del Umbral de Referencia es con la finalidad de identificar el inicio de las marcas definidas en cada sector o grupo (por ejem. DNI, aula, tipo de prueba y respuestas) las cuales se desplazarán en forma horizontal o por fila.

El algoritmo parte por la identificación del Umbral de referencia de la ficha y luego cada una de las marcas referenciales sirven por fila de lectura de las marcas de cada uno de los sectores definidos previamente.

Sin embargo, este proceso se inicia con una limpieza y validación de las marcas, la misma que servirá también para el proceso de reconocimiento óptico de patrones de lo marcado. Esta limpieza está en función al porcentaje de marcado por la columna referida (Umbral de Referencia) y así garantizar la columna válida, donde se considera un mínimo de 90% de pre marcado.

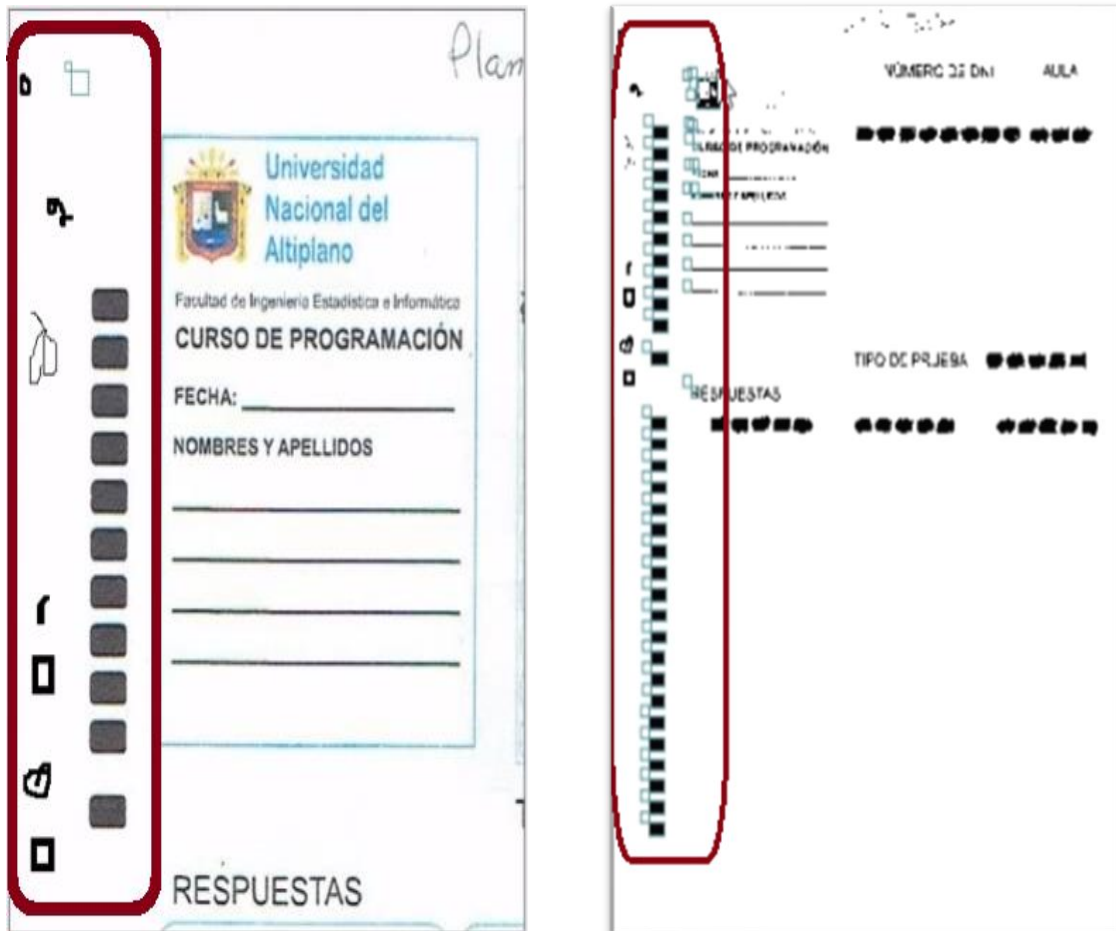


Figura 18. Proceso de limpieza

Nota. Aplicación del algoritmo de limpieza para la identificación de las marcas de referencia

Continuamos con el proceso de identificación del patrón, para ello es definir las filas a considerar, logrando esto luego de la limpieza.



Figura 19. Identificación de filas validadas

Nota. El algoritmo determinará las filas a procesar previa identificación de las marcas de referencia.

Los algoritmos de definición del umbral de referencia, limpieza e identificación de las filas a procesar se encuentran en el Anexo 1.

4.3.7 Definición y lectura de los sectores del patrón

Para la fase inicial de reconocimiento, es preciso aclarar que los algoritmos propuestos expresados a través de los diferentes módulos, se procede mediante la reconstrucción de la ficha, esto consiste en tomar como plantilla master y mediante el módulo de reconocimiento se reconstruye dicha plantilla (ficha) de tal forma que se logra uniformizar la ficha en su forma, tamaño y resolución, logrando el siguiente resultado:

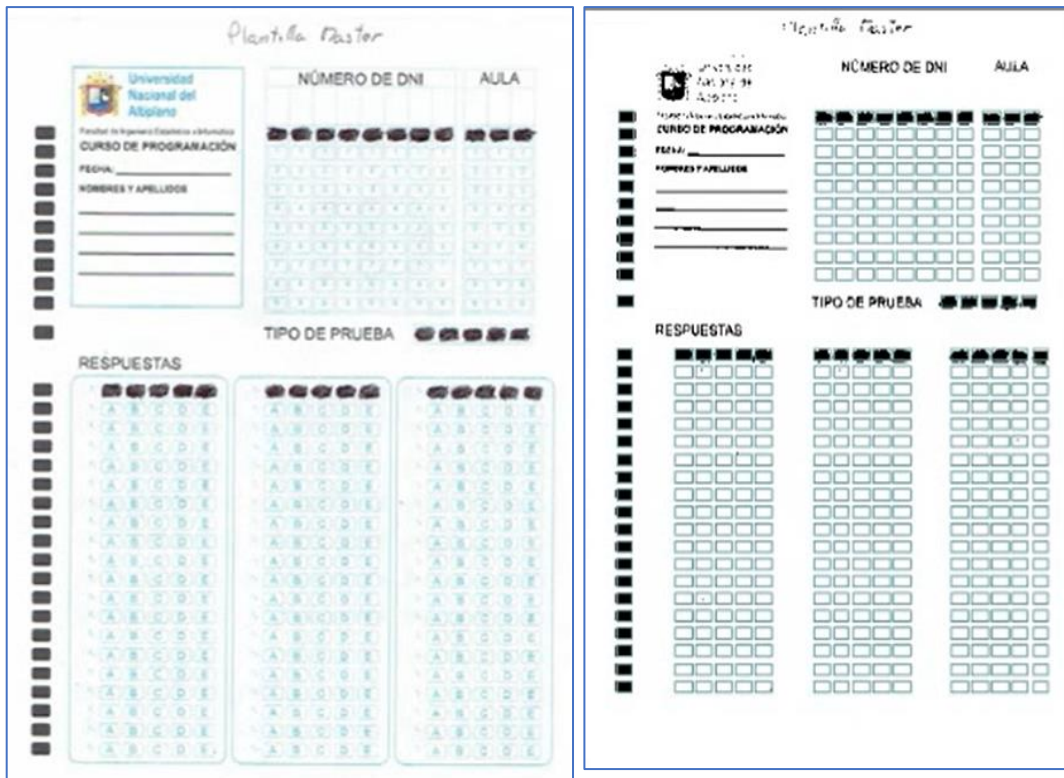


Figura 20. Proceso de reconstrucción

Nota: La ficha de la izquierda es la original en formato JPG en 200ppp de resolución y con la aplicación del algoritmo de reconstrucción se logra la imagen de la derecha.

El algoritmo de reconstrucción se muestra como:

```

Sub Card_Analize()
    Dim x As Integer, y As Integer, i As Integer, j As Integer
    Dim MaxCols As Integer
    Dim POS As OBJECT_COORD
    Dim pColor As Color
    Dim Area0 As Integer, Area1 As Integer, pArea As Single
    MsgBox(GetRows_Count())
    For y = 0 To GetRows_Count()
        MaxCols = Card_Matriz(y, 0).nCount
        For x = 1 To MaxCols
            POS = Get_CardMatriz(y, x)
            Area0 = POS.x1 * POS.y1 'Determina el area del rectangulo que debe de
            marcar
            Area1 = 0
            For i = POS.x0 To POS.x0 + POS.x1
                For j = POS.y0 To POS.y0 + POS.y1
                    If i > 0 And j > 0 Then
                        pColor = imgBinary.GetPixel(i, j)
                        'imgBinary.SetPixel(i, j, Color.OrangeRed)
                        If pColor.R = 0 Then Area1 = Area1 + 1
                    End If
                Next
            Next
            'Verificando si el area marcada esta de acuerdo a la sensibilidad de
            marcado
            'area0 = 100%
            'area1 = pArea
            If Area0 > 0 Then
                pArea = 100 * Area1 / Area0
            Else
                pArea = 0
            End If
            If Int(pArea + 0.5) >= Nivel_Sensibilidad Then POS.Valid = True Else

```

4.4 Proceso de reconocimiento

Se desarrolló un módulo de control de procesos que, cubrirán las fases de:

- Definición de variables
- Identificación de sectores
- Reconstrucción
- Reconocimiento
- Generar los archivos **.ini** (Parámetros de configuración)
- Generación de archivos **.txt** (Parámetros de reconocimiento y resultados)

Todos ellos expresado en el siguiente módulo, el cual se trabajará por proyectos:

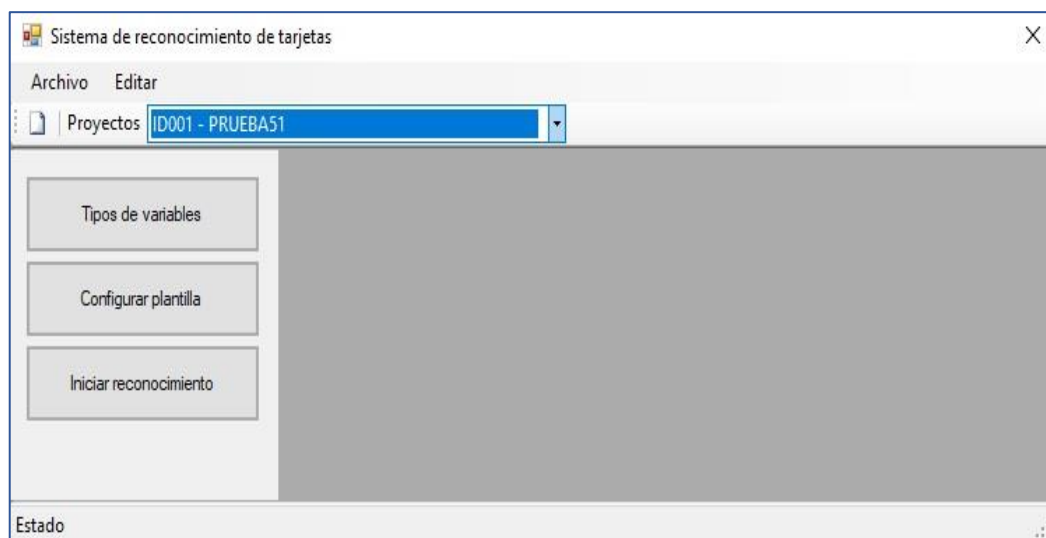


Figura 21. Módulo principal

4.4.1 Definición de variables

A través del siguiente módulo se tiene que definir las variables a identificar sujeto de reconocimiento, como:

- Tipo o nombre de variable y
- Valores de la variable

Definición de tipos de variables

Tipo de valor:

Valores:

| | Tipo de variable | Valores |
|---|------------------|------------|
| ▶ | DNI | 0123456789 |
| | AULA | 0123456789 |
| | TP | PQRST |
| | RESP | ABCDE |
| * | | |

Figura 22. Módulo de identificación de variables

4.4.2 Identificación de sectores

Bajo de la definición de Configurar plantilla, debemos de seleccionar la ficha o tarjeta patrón con las primeras filas marcadas, con la finalidad de reconstruir e identificar los sectores que se someterán a proceso de reconocimiento.

Configurar

Seleccionar imagen

Grupo:

Tipo de valor:

Orientación:

Fila: Columna:

Ancho: Alto:

Grupos de datos

| Grupo | Variable | Valores | Orientación |
|-------------|----------|------------|-------------|
| ▶ DOC_IDET | DNI | 0123456789 | VERTICAL |
| AULA | AULA | 0123456789 | VERTICAL |
| TIPO_PRUEBA | TP | PQRST | HORIZONTAL |
| RESP_C1 | RESP | ABCDE | HORIZONTAL |
| RESP_C2 | RESP | ABCDE | HORIZONTAL |

Figura 23. Módulo de identificación de sector o grupo

Este módulo permite en primera instancia trabajar en segundo plano la reconstrucción de la ficha considerando las siguientes especificaciones:

- Seleccionar imagen: Debemos seleccionar la imagen-patrón que cumpla con las características requeridas y con la aplicación de procesos en segundo plano, realiza reconstrucción de la ficha.
- Luego procedemos definir los sectores con la finalidad de identificar y diferenciar que sectores se deben someter al proceso de reconocimiento. Por ejemplo:
 - Grupo : RESP_C3
 - Tipo de variable : RESP (ABCDE)
 - Orientación : HORIZONTAL (dependerá de la disposición)
 - Fila : 12 (orden de la fila de inicio de respuestas)
 - Columna : 11 (orden de la columna de inicio de respuestas)
 - Ancho : 5 (cantidad de casilleros identificados)
 - Alto : 20 (cantidad de filas que corresponde a este grupo)

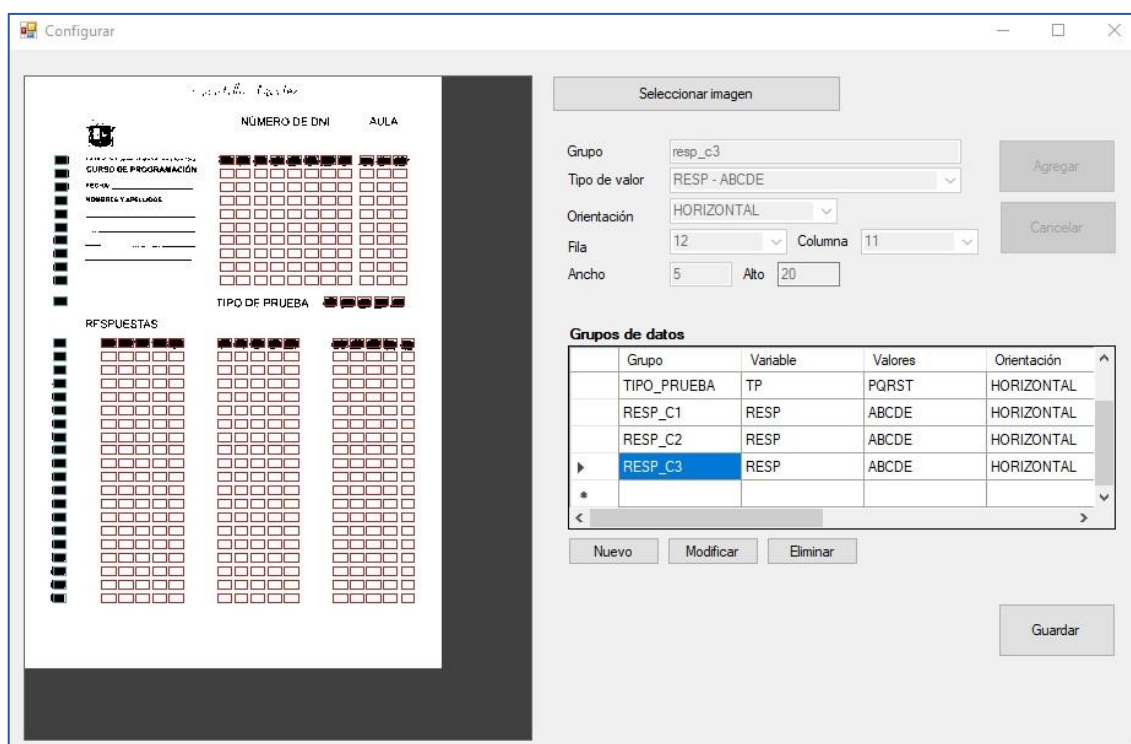


Figura 24. Módulo de captura de sector o grupo

Reconocimiento:

Finalmente, el módulo de reconocimiento de tarjetas se procede a elegir la carpeta donde se encuentran todas las tarjetas sujetas a realizar su reconocimiento óptico de patrones con fines de calificación mediante el siguiente módulo:

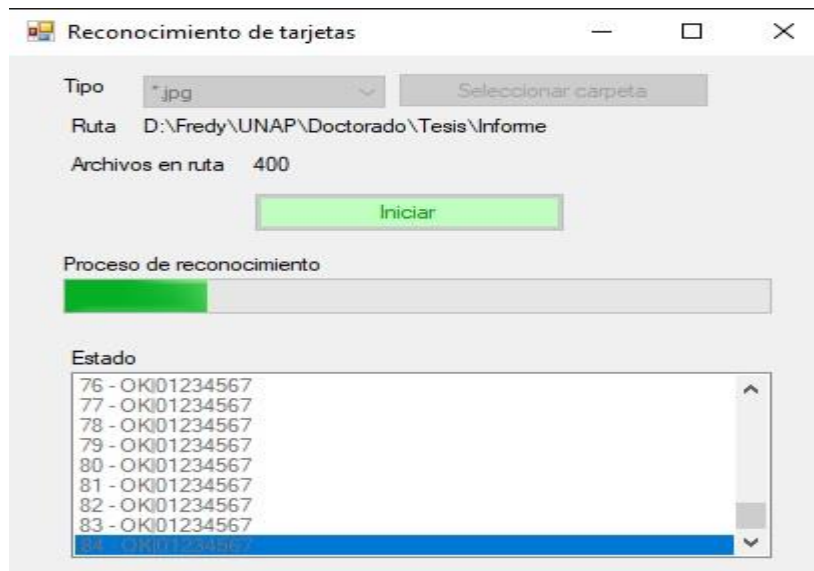
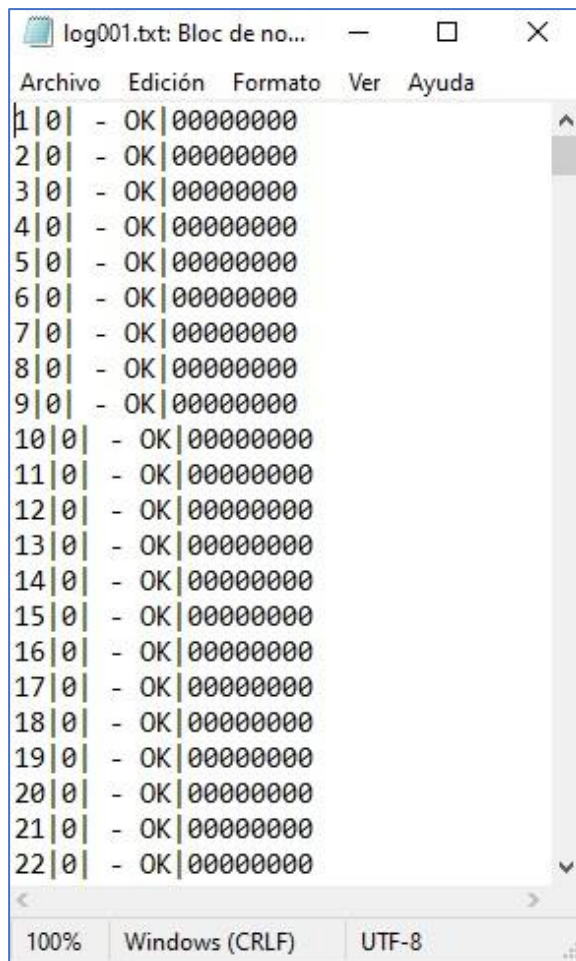


Figura 25. Módulo de reconocimiento óptico de patrones

4.4.3 Archivos generados

Como resultado de los procesos realizados, se generan diferentes archivos que permitirán realizar las configuraciones iniciales, parámetros de reconocimiento y compatibilidad de formato.

Archivo **log001.txt**: Donde se registra el estado de las fichas que son sometidas al proceso de reconocimiento óptico de patrones.



```
log001.txt: Bloc de no...
Archivo  Edición  Formato  Ver  Ayuda
1|0| - OK|00000000
2|0| - OK|00000000
3|0| - OK|00000000
4|0| - OK|00000000
5|0| - OK|00000000
6|0| - OK|00000000
7|0| - OK|00000000
8|0| - OK|00000000
9|0| - OK|00000000
10|0| - OK|00000000
11|0| - OK|00000000
12|0| - OK|00000000
13|0| - OK|00000000
14|0| - OK|00000000
15|0| - OK|00000000
16|0| - OK|00000000
17|0| - OK|00000000
18|0| - OK|00000000
19|0| - OK|00000000
20|0| - OK|00000000
21|0| - OK|00000000
22|0| - OK|00000000
100%  Windows (CRLF)  UTF-8
```

Figura 26. Archivo log del estado del proceso

Archivo **OV_001.txt**: El contenido de este archivo es fundamental para el proceso de reconocimiento ya que registra la siguiente información:

- Datos generales del proyecto
- Característica de las variables definidas
- Características de los sectores los grupos identificados
- Parámetros de los casilleros reconocidos como: fila, cantidad de objetos, medidas de y coordenadas de ubicación

```
OV_001.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
[PROJECT]
VERSION=FHVS V1.0
CODE=001
NAME=PRUEBA51
FILE=D:\Fredy\UNAP\Doctorado\Tesis\Informe final\Sistema\capturas\200ppp_EPSON\img090.jpg
[TYPEVAR]
COUNT=4
VAR_DENO1=DNI[$$VALUE$$]0123456789
VAR_DENO2=AULA[$$VALUE$$]0123456789
VAR_DENO3=TP[$$VALUE$$]PQRST
VAR_DENO4=RESP[$$VALUE$$]ABCDE
[OBJECT]
COUNT=0
[GROUPS]
COUNT=6
VALOR1=DOC_IDET[$COL$]DNI[$COL$]0123456789[$COL$]False[$COL$]0[$COL$]0[$COL$]8[$COL$]10
VALOR2=AULA[$COL$]AULA[$COL$]0123456789[$COL$]False[$COL$]0[$COL$]8[$COL$]3[$COL$]10
VALOR3=TIPO_PRUEBA[$COL$]TP[$COL$]PQRST[$COL$]True[$COL$]10[$COL$]0[$COL$]5[$COL$]1
VALOR4=RESP_C1[$COL$]RESP[$COL$]ABCDE[$COL$]True[$COL$]11[$COL$]0[$COL$]5[$COL$]20
VALOR5=RESP_C2[$COL$]RESP[$COL$]ABCDE[$COL$]True[$COL$]11[$COL$]5[$COL$]5[$COL$]20
VALOR6=RESP_C3[$COL$]RESP[$COL$]ABCDE[$COL$]True[$COL$]11[$COL$]10[$COL$]5[$COL$]20
[MATRIZ]
COUNT=31
FILA1=12
OBJ1-1=12|24|64|10|7
OBJ1-2=0|159|64|11|7
OBJ1-3=0|172|64|11|7
OBJ1-4=0|187|64|10|7
OBJ1-5=0|200|64|11|7
OBJ1-6=0|214|64|11|7
OBJ1-7=0|228|64|11|7
OBJ1-8=0|241|64|12|7
OBJ1-9=0|255|64|11|7
OBJ1-10=0|273|64|11|7
OBJ1-11=0|287|64|11|7
Línea 5, columna 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Figura 27. Archivo con contenido de parámetros de configuración

Archivo **xxxxx.FVS**: Dependiendo del nombre que se elija el archivo de resultados, éste contiene la información final del proceso de reconocimiento óptico de patrones, se podrá identificar que cada fila contine la información necesaria de cada ficha procesada, datos como: código del proyecto, orden correlativo de reconocimiento, fecha, estado de lectura, campos definidos (dni, aula, tipo de prueba, respuestas) y las respuestas marcadas.

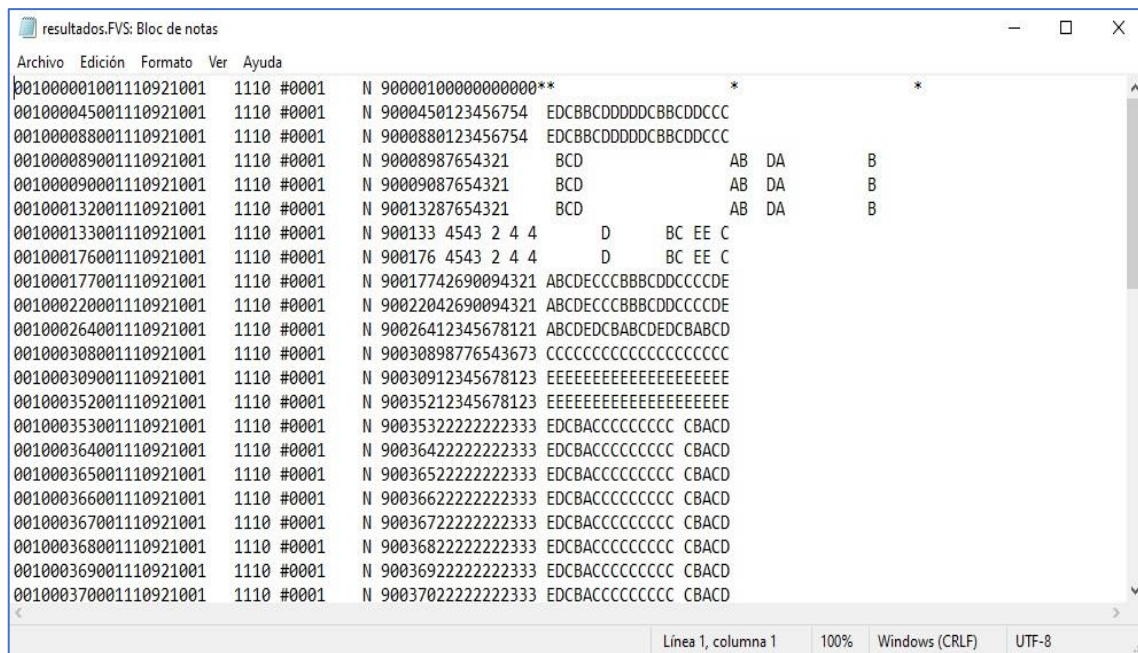


Figura 28. Archivo de resultados del proceso de reconocimiento óptico de patrones

Discusión de resultados

En los procesos de digitalización, muchos de las investigaciones se orientan a la aplicación de técnicas de reconocimiento óptico de caracteres como es el caso de (Aranzábal & Barrientos, 2018) y (Ortiz, 2018) donde aplica el algoritmo k-nearest neighbors (K-NN) o de los k-vecinos más próximos en el proceso de digitalización de caracteres en el registro y estructuración de información clínica, bajo la mismo criterio hicimos las modificaciones necesarias para nuestro proceso de reconocimiento de patrones y llegamos a la misma conclusión que este algoritmo kNN demuestra un gran potencial y el nuestro bajo la denominación de El buen vecino, validamos esa aseveración.

Como bien lo indica Chancafe y Mazabel (2016) la salud no está ajeno a la digitalización Donde aplican técnicas de segmentación de imágenes en una placa radiográfica para la detección de caries, resaltando básicamente la demora de procesamiento en milisegundos y en ello coincidimos puesto que nuestro algoritmo también optimiza el tiempo de procesamiento las fichas a calificar en la fase de reconocimiento en milisegundos.

El uso de lenguajes de programación es una de las herramientas fundamentales en la sistematización de procesos de reconocimiento, tal es así que Chambi (2016) de reconocimiento y detección en imágenes de huellas dactilares usa Matlab mediante a metodología de procesos enlazados, mientras que nosotros hicimos uso de Visual Studio



Community (Microsoft, 2017), demostrado que si es posible implementar en diferentes lenguajes de programación en esta línea de investigación.

Otro trabajo de investigación interesante es el uso de la técnica OCR que, bajo el correcto entrenamiento aplicado por Carvajal (2018) para el reconocimiento de patentes en Chile o cualquier patente a nivel mundial, sin embargo para el proceso de entrenamiento debe tener un banco de al menos 3000 imágenes, mientras que nuestra propuesta aplica técnicas directas que no necesitan entrenamiento, tan solo pruebas iniciales en relación al formato, tamaño y resolución de la imagen a digitalizar.

El reconocimiento de placas vehiculares se manifiesta en la investigación de Tasiguano y Corrales (2016) que, para lograr el reconocimiento enfatizan el uso de la cámara con filtro IR sometándolo a variaciones de luz y cambios climáticos y comprueba que no altera el funcionamiento de su algoritmo al momento de la búsqueda de patrones de caracteres OCR, en nuestro caso respecto al dispositivo de captura o cámara utilizada, no necesita de filtro alguno y evidentemente se recomienda que la fase de captura o digitalización se haga en las mejores condiciones de luz y hasta cierto punto con cualquier cámara que ofrezca nitidez y al menos una resolución de 200ppp.

CONCLUSIONES

- Dada la complejidad del sistema de reconocimiento, se logró cumplir con la identificación de los procesos necesarios como la creación e implementación del algoritmo del Buen Vecino, el cual permitió digitalizar y transformar las tarjetas a objetos reconocibles y poder transformar a campos con contenido de tipo texto plano.
- Un paso relevante era la transformación de imágenes a full color a escala de grises y de ello a la binarización, logrando ello mediante la aplicación de la escala cromática de Munshell y estableciendo que la escala mayor o igual a 4, es el parámetro mínimo óptimo para lograr proceso de reconocimiento.
- En relación a los formatos, se comprobó que la resolución óptima para garantizar el proceso de reconocimiento es de 200ppp (200dpi).
- En cuanto a los tiempos de reconocimiento, después de varias pruebas se logró estimar el tiempo promedio de reconocimiento por tarjeta y es de 0.075 segundos.



RECOMENDACIONES

El sistema propuesto, predispone las fichas ya digitalizadas en formato JPG a 200ppp con un promedio de 280 KB por archivo, por tanto, por sus características técnicas es posible publicar en un entorno Web junto a los resultados, con la finalidad de demostrar la calificación.

La tecnología de impresión actual posibilita realizar impresiones personalizadas a gran volumen y a todo color, por ello se recomienda imprimir las fichas con la fotografía personal con la finalidad de identificar y garantizar la unicidad a quien pertenece para el proceso de calificación.

Tal como se indicó, se usó VB para la implementación de los algoritmos, sin embargo, considerando las características de uso de licencia, se recomienda profundizar la aplicación del lenguaje Python de código abierto y de libre uso y con las librerías adecuadas o la modificación de las mismas considerar como herramienta de desarrollo.

Para el proceso de elaboración de las fichas o tarjetas, se recomienda que la impresión sea, para el umbral la escala 4 o superior y para la demás impresión sea inferior a esta escala, considerando la escala cromática de Munshell.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliev, M., Ershov, E. I., & Nikolaev, D. P. (2018). On the use of FHT, its modification for practical applications and the structure of Hough image. *ArXiv*, 1–8. <https://doi.org/10.1117/12.2522803>
- Aranzábal, H. E. C., & Barrientos, W. G. P. (2018). *Sistema de digitalización y estructuración de información clínica con técnicas de reconocimiento óptico de caracteres y procesamiento del lenguaje natural*. undefined-undefined. https://www.mendeley.com/catalogue/bce44428-d201-3d23-8ea0-bd900a24aed6/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B734d2930-2812-461c-9a31-d58cd221165d%7D
- Armas-Costa, Ricardo Joaquín de, Quintero-Torres, Shirley Viviana, Acosta-Muñoz, Cristina, & Rey-Torres, C. C. G. (2018). La transformada de Radon aplicada a la segmentación de imágenes digitales en escala de grises. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17, 193–207. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22395/rium.v17n32a10>
- Caffetti, Y. (2020). *Reconocimiento y clasificación de patrones en imágenes de microscopía , parametrizadas según la Técnica de Micronúcleos* [Universidad Nacional del Misiones]. <https://hdl.handle.net/20.500.12219/2762>
- Canela, E., Tutor, F., Ruiz, M., Dpto, A., & Escuela, C. (2019). *Proyecto Fin de Máster Máster Universitario en Ingeniería Electrónica , Robótica y Automática Entorno interactivo MATLAB para análisis de texturas mediante histograma de orientaciones de gradiente* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/handle/11441/95180>
- Cantero, Alcides y Martinez, E. (2016). Visión por computadora: identificación, clasificación y seguimiento de objetos. *FPUNE Scientific*. <http://www.une.edu.py:83/fpunescientific/index.php/fpunescientific/article/view/137>
- Carvajal, B. (2018). *Reconocimiento fotográfico de patentes*. Pontificia Universidad Católica de Vaslparaíso.
- Castañeda, L. (2011). *Método de búsqueda en espacio de estados*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Castleman, K. (1996). *Digital image processing* (1st Editio). Prentice Hall.
- Castrillo Leal, Y. (2017). Evaluación de técnicas de segmentación de imágenes de ultrasonido por crecimiento de regiones /. <Http://Biblioteca.Utb.Edu.Co/Notas/Tesis/0072989.Pdf>, 39. <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/1724#.XyMwbpATwNg.mendeley>
- Castro, G. (2019). *Aplicación de algoritmos inteligentes para reconocimiento automático de enfermedades foliares de cultivo de palta* [Universidad Nacional del Moquegua]. <http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/98>
- Chambi, E. (2016). Reconocimiento y detección biométrico basado en imágenes de huellas digitales [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Tesis*.

- <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6247>
- Csori, M. y M. M. (2017). *Implementación de un prototipo para extraer información de documentos por medio de plantillas a través de técnicas de reconocimiento de patrones y OCR*. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2582%0A>
- Dávara, R. M. A. (2015). Introducción a los Sistemas Expertos. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 909–920. <http://www.redcientifica.com/doc/doc199908210001.html>
- EcuRed. (2021). *JPG*. <https://www.ecured.cu/JPG>
- Espín, N., Castillo, F., García, F., & Sarría, F. (2015). Comparación de Métodos de Clasificación de Imágenes de Satélite. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 67, 327–347.
- Estela, J. (2017). *Análisis Comparativo de algoritmos de reconocimiento de imágenes por descriptores de color para la Identificación de billetes* (Vol. 53, Issue 9) [Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/2699>
- Forero-Cabrera, N. M., Camacho-Tamayo, J. H., Ramírez-López, L., & Sanabria, Y. R. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopia de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1 SE-Artículos de investigación científica y tecnológica). <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>
- Fuentes, Y. (2018). Algoritmo de reconocimiento de patrones en imágenes digitales implementados en Web Service, para la búsqueda de textos bibliográficos por índice de contenidos digitalizados, 2018. [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9663>
- G. Morris, C., & A. Maisto, A. (2005). Organización perceptual. *Introducción a La Psicología*, 142. <https://books.google.co.cr/books?id=PLDQoRgu5ZYC&pg=PP160&dq=ORGANIZACION+PERCEPTUAL&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi4oOyHr8jqAhXkQd8KHXNUCrEQuwUwAHoECAMQCA#v=onepage&q=ORGANIZACION+PERCEPTUAL&f=false>
- Garc, S., & Saavedra, F. S. (2018). *ADAPTATIVA DE IMAGENES U MBRALIZACION BASADA EN HISTOGRAMAS ESPACIO – COLOR* Autor : Silvia Garc Tutor : Jos
- García Ordás, M. T., Alaiz Rodríguez, R., & Alegre Gutiérrez, E. (2016). Clasificación y reconocimiento de patrones. *Grupo de Visión Del Comité Español de Automática (CEA)*, 159–180. <http://hdl.handle.net/10612/11066>
- Gimp.org. (2020). *GIMP*. <https://docs.gimp.org/2.10/es/>
- Gomez, J. (2015). *TIBES: Tutor Interactivo de técnicas de Búsqueda en Espacio de eStados*. UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA.
- Gonzales, R, y Woods, R. (1996). *Tratamiento digital de imágenes*. Addison-Wesley. <https://www-optica.inaoep.mx/~gurcid/urcmatespdi.html>
- Gonzales et al. (2016). *Gestión y reconocimiento óptico de los puntos característicos de imágenes de huellas dactilares*.

- Herrera, M. (2015). *Análisis de la composición cromática en el tejido residencial de la ciudad de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Israel, R., & Hondal, P. (2017). Modelación estadística de la textura del clutter marino en Matlab. *Tecnura*, 21, 13–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/22487638.11708>
- José Manuel Cotos Yáñez, Juan Enrique Arias Rodríguez, Joaquín Angel Triñanes Fernández, J. M. T. P. (1998). Segmentación de imágenes LANDSAT-TM por medio de un sistema experto. *Reunión Científica de La Asociación Española de Teledetección*, V, 687–694.
- Julesz, B. T. (1997). The elements of texture perception, and their interactions. *Nature*, 290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/290091a0>
- Kimchi, R. (2000). The perceptual organization of visual objects: A microgenetic analysis. *Vision Research*, 40(10–12), 1333–1347. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00027-4)
- Kiver, M. (1985). *Color Television Fundamentals* (First Edit). McGraw-Hill.
- La Serna Palomino, N., Contreras, W., & Ruiz, M. E. (2010). Procesamiento Digital de textura: Técnicas utilizadas en aplicaciones actuales de CBIR. *Revista de Investigación de Sistemas e Informática*, 7(1), 57–64. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/risi/2010_n1/v7n1/a06v7n1.pdf
- Latorre, S. (2018). *Patrones de fijación y seguimiento visual involucrados en el reconocimiento de rostros en niños prematuros del Programa Canguro del Hospital San Ignacio de Bogotá* [Universidad Nacional del Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76305>
- Martín, Alejandro y Fernandez, L. (2015). Reconocimiento óptico de caracteres en imágenes digitales de contadores de gas [Universidad Complutense De Madrid]. In *Universidad Complutense De Madrid*. [http://eprints.ucm.es/31485/1/Memoria Final.pdf](http://eprints.ucm.es/31485/1/Memoria_Final.pdf)
- MathWorks. (2021). *Procesamiento de Imágenes y Visión Artificial con MATLAB*. <https://la.mathworks.com/videos/image-processing-and-computer-vision-with-matlab-1597884648964.html>
- Mazabel, Guillermo. Chancafe, J. (2016). *Detección Automática de Caries utilizando reconocimiento de patrones en placas radiográficas* [Universidad Señor de Sipan]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/163>
- Microsoft. (2017). *Visual Studio. TÉRMINOS DE LA LICENCIA DE SOFTWARE DE MICROSOFT*. <https://visualstudio.microsoft.com/es/license-terms/mlt553321/?rr=https%3A%2F%2Fwww.google.com.pe%2F>
- Modelo de color HSL y HSV – HiSoUR Arte Cultura Historia*. (n.d.). Retrieved February 4, 2021, from <https://www.hisour.com/es/hsl-and-hsv-24344/>
- Moretti, I., Jorge, J., Amado, J., Caniglia, C., Puntillo, D., & Blasco, M. (2016). Software libre para reconocimiento automático de las nuevas patentes del Mercosur. *Revista Vial*, 112, 32-38. https://www.researchgate.net/publication/327160491_Software_libre_para_recono



cimiento_automatico_de_las_nuevas_patentes_del_Mercosur

- Neira, E. (2017). *Sistema de lectura automática del número de DNI utilizando visión artificial* [Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1757>
- Ortiz, L. (2018). *Análisis de algoritmos para el reconocimiento automático de caracteres manuscrito antiguos* [Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/4663>
- Parker, J. (1997). *Algorithms for Image Processing and Computer Vision* (Second Edi). Wiley publishing.
- Pinheiro. (2016). Learning to refine object segments. *Computer Science*.
- Polysistemas - Gestión documental omnicanal. (2021). *Digitalización*. <https://polysistemas.com/soluciones/digitalizacion/>
- Puerto Cuadros, Eduard Gilberto, & Aguilar Castro, J. L. (2017). Un Algoritmo Recursivo de Reconocimiento de Patrones. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 40.
- Quiroz, J. (2019). *Adquisición e implementación de un sistema de digitalización de documentos y gestión documental* [Universidad Tecnológica del Perú]. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/1966>
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta edic). Mc Graw Hill.
- Serrato, J. (2017). *Sistema de reconocimiento automático de números utilizando similaridad del coseno para visión artificial*. Universidad Nacional de Piura.
- Sucar, L. y Gómez, G. (2011). *Visión Computacional* (Ó. y E. Instituto Nacional de Astrofísica (Ed.)).
- Tasiguano, C. (2016). Desarrollo de algoritmos de reconocimiento de placas de vehículos. *Ristian y Corrales, Luis, May*, 5–10. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3867>
- Toro, L. (2015). *Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial*.

ANEXOS

Anexo 1

Dim MaxUmbral As Integer

'Analizando filas del sector de referencia y generando columnas

FilasCount = clsObject.Get_Count_Object()

'Debug.Print("Filas:" & FilasCount)

AltProm = 0

For i = 1 To FilasCount

 rObj = clsObject.Get_Location_Object(i - 1)

 AltProm = AltProm + rObj.y1

Next

AltProm = Int(AltProm / FilasCount + 1)

For i = 1 To FilasCount

 rObj = clsObject.Get_Location_Object(i - 1)

 rObj.y1 = AltProm

'obteniendo umbral por cada fila

For x = getreferenceXmax() + 10 To imgBinary.Width - 1

 filUmbral(x) = 0

 For y = rObj.y0 To rObj.y0 + rObj.y1

 mPixel = imgBinary.GetPixel(x, y)

 If mPixel.R = 0 Then

 filUmbral(x) = filUmbral(x) + 1

 End If

 Next

Next

MaxUmbral = rObj.y1

'Seleccionando objetos de la fila

Active = False

FilasTarjeta(i - 1, 0) = rObj

mCountHor = 1

For x = getreferenceXmax() + 10 To imgBinary.Width - 1

 If filUmbral(x) <= Int(MaxUmbral * 0.4 + 0.5) Then filUmbral(x) = 0

 'Debug.Print(i & ", " & x & ", " & filUmbral(x))

'MaxUmbral * 0.95

 If filUmbral(x) > Int(MaxUmbral * 0.4 + 0.5) And Active = False Then

 FilasTarjeta(i - 1, mCountHor).y0 = rObj.y0

 FilasTarjeta(i - 1, mCountHor).y1 = rObj.y1

 FilasTarjeta(i - 1, mCountHor).x0 = x

 Active = True

 Else

 If filUmbral(x) < MaxUmbral * 0.1 And Active = True Then

 FilasTarjeta(i - 1, mCountHor).x1 = x - FilasTarjeta(i - 1, mCountHor).x0

 FilasTarjeta(i - 1, 0).nCount = mCountHor + 1

 mCountHor = mCountHor + 1

 Active = False

 End If

 End If

Next

'Verificando objetos validos en la fila

area_col0 = rObj.x1 * rObj.y1

'Debug.Print("i:" & i & ", a:" & area_col0 & "x:" & rObj.x1 & ", y:" & rObj.y1)

For x = 1 To FilasTarjeta(i - 1, 0).nCount - 1

 area_col1 = FilasTarjeta(i - 1, x).x1 * FilasTarjeta(i - 1, x).y1

 If area_col1 < area_col0 * 0.9 Or FilasTarjeta(i - 1, x).x1 < Int(rObj.x1 * 0.5) Or FilasTarjeta(i - 1, x).x1 >

Int(rObj.x1 * 1.5) Then

 FilasTarjeta(i - 1, x).x0 = 0

 FilasTarjeta(i - 1, x).y0 = 0

 FilasTarjeta(i - 1, x).x1 = 0

 FilasTarjeta(i - 1, x).y1 = 0

 End If



```
Next
'Regenerando posiciones
mCountHor = 1
For x = 1 To FilasTarjeta(i - 1, 0).nCount - 1
  If FilasTarjeta(i - 1, x).x0 <> 0 Then
    FilasTarjeta(i - 1, mCountHor) = FilasTarjeta(i - 1, x)
    mCountHor = mCountHor + 1
  End If
Next
FilasTarjeta(i - 1, 0).nCount = mCountHor

'Asigando objetos a la filas sin objetos
If FilasTarjeta(i - 1, 0).nCount <= 1 Then
  If i > 1 Then
    For x = 0 To FilasTarjeta(i - 2, 0).nCount
      FilasTarjeta(i - 1, x).y0 = rObj.y0
      FilasTarjeta(i - 1, x).y1 = rObj.y1
      FilasTarjeta(i - 1, x).x0 = FilasTarjeta(i - 2, x).x0
      FilasTarjeta(i - 1, x).x1 = FilasTarjeta(i - 2, x).x1
    Next
    FilasTarjeta(i - 1, 0).nCount = FilasTarjeta(i - 2, 0).nCount
  End If
End If
Next
```