

## APENDICE A

### MODELO FUNCIONAL DEL SISTEMA

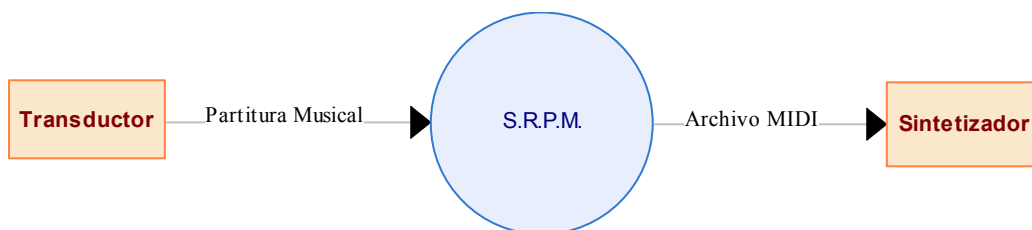
#### A.1. Descripción del proyecto

El Sistema Reconocedor de Partituras Musicales (S.R.P.M.) es un sistema que analiza partituras musicales previamente digitalizadas por medio de un proceso de transducción para reconocer los caracteres musicales existentes en ella. Este proceso de reconocimiento se realiza por medio de un sistema reconocedor de patrones cuyo clasificador lo componen un par de redes neuronales artificiales. Una vez hecho esto se genera el código MIDI correspondiente para que pueda ser interpretado por medio de un sintetizador.

#### A.2. Diagramas de flujo de datos

##### o Diagrama de Contexto de Arquitectura (DCA)

- **Título:** Sistema Reconocedor de Partituras Musicales
- *Proceso padre:* Sin proceso padre.
- *DFD:*



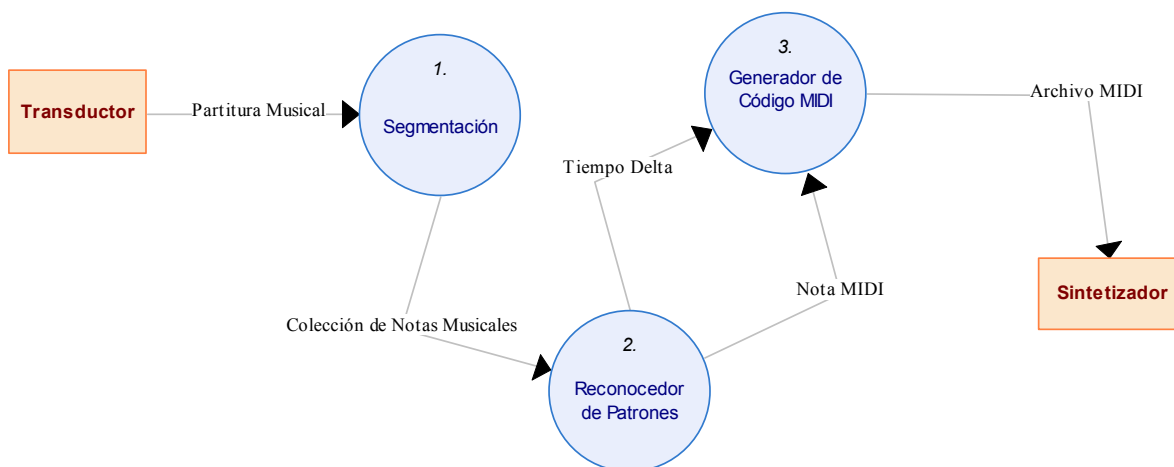
- *Descripción:*

Muestra el Sistema de Reconocimiento de Partituras Musicales (S.R.P.M) insertado en el contexto de ingeniería de sistemas de computadora, es decir, identificando las relaciones que este sistema tiene con el resto de su contexto

(entidades externas), especificando los flujos de información que recibe y proporciona a su mundo exterior.

○ **Diagramas de Nivel 0**

- **Título:** DFD Nivel 0
- **Proceso padre:** S.R.P.M.
- **DFD:**

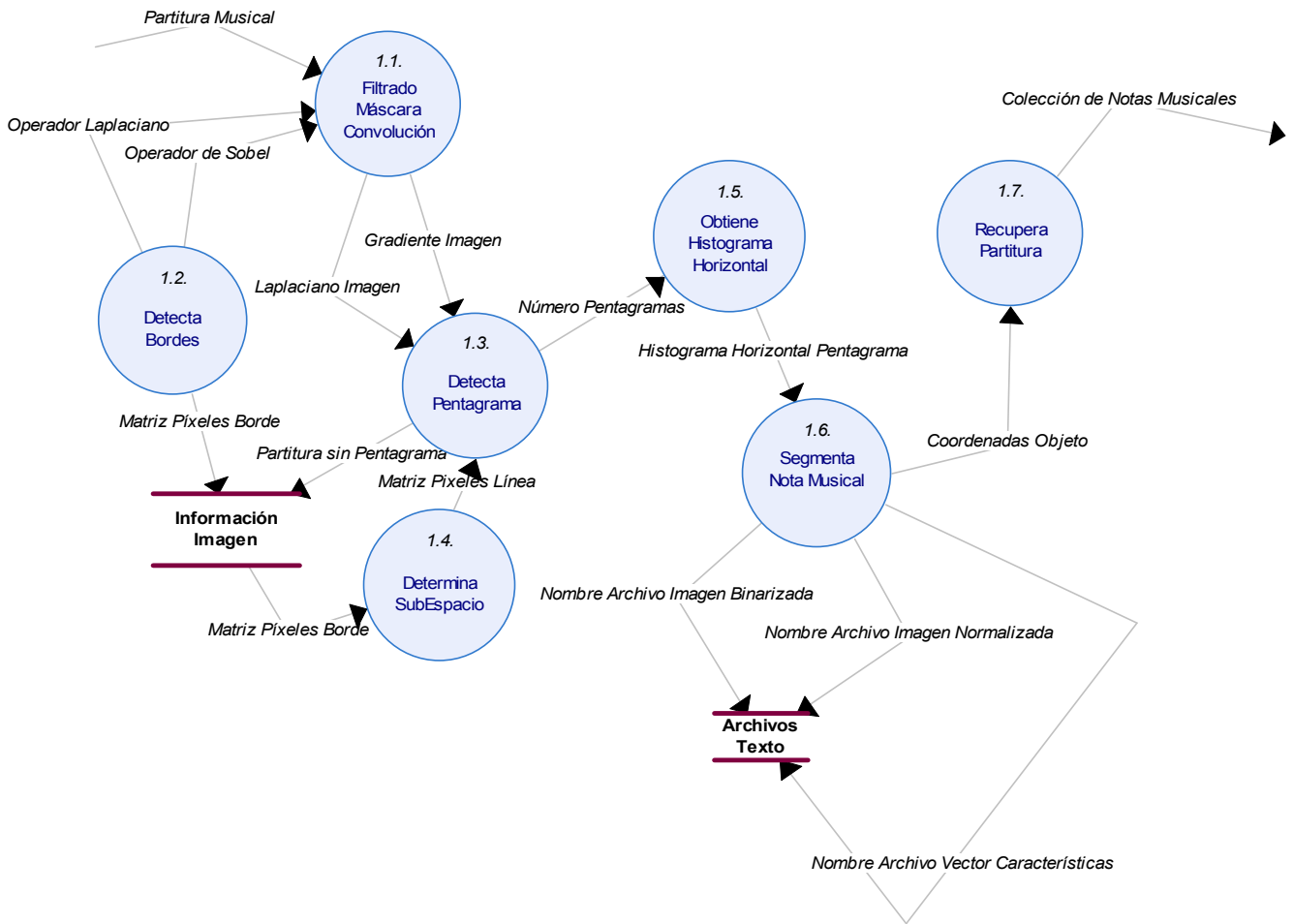


▪ **Descripción:**

En el DFD de Nivel 0 se muestran los módulos principales que componen el SRPM. El transductor envía una partitura musical digitalizada al proceso de Segmentación quien a través de varias técnicas separa cada una de las notas musicales que componen a dicha partitura. Cada una de esas notas musicales segmentadas son enviadas al Reconocedor de Patrones quien se encarga de obtener dos datos importantes: cuál es la nota musical reconocida (Nota MIDI) y que tiempo deberá tocarse dicha nota (Tiempo Delta), esta información es proporcionada al módulo Generador de Código MIDI quien con base a ésta genera las instrucciones MIDI correspondientes y las almacena en un archivo que al final de todo este proceso conformará el Archivo MIDI con la melodía correspondiente a la partitura musical digitalizada. Este archivo MIDI está en posibilidad de ser leído e interpretado en cualquier sintetizador que toque código MIDI.

○ **Diagramas de Nivel 1**

- **Título:** DFD Nivel 1 para Segmentación
- **Proceso padre:** Segmentación
- **DFD:**

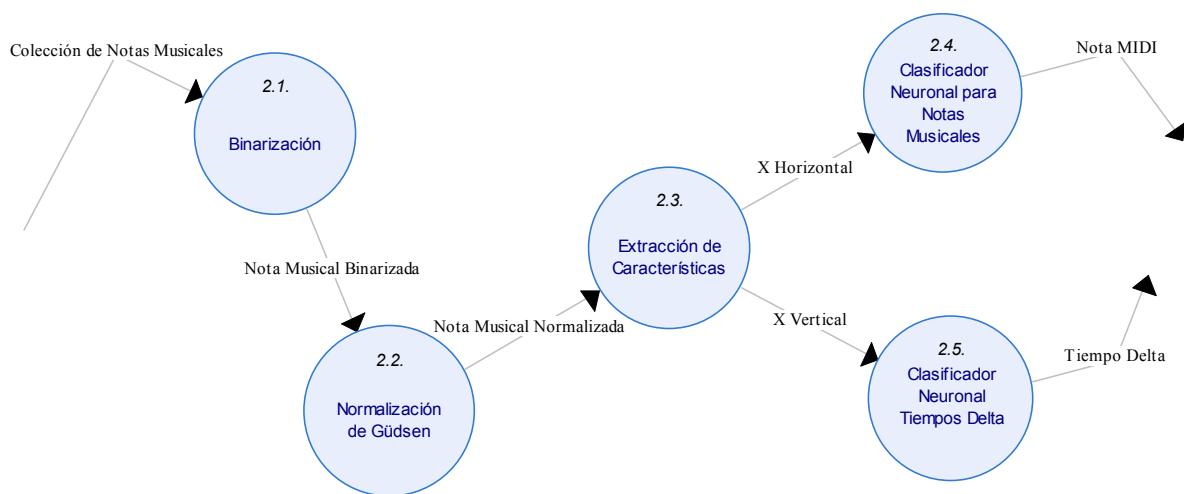


▪ **Descripción:**

El módulo de segmentación está implementado a base de histogramas toma como información de entrada los píxeles borde detectados mediante las máscaras de convolución de Sobel y la información de niveles de grises obtenidos de la imagen original. Se obtienen histogramas verticales y horizontales a partir de los niveles de brillo en los píxeles de la imagen original sumando como su nombre lo indica vertical y horizontalmente dichos niveles de gris, acto seguido se buscan en los

histogramas verticales los cinco valores más pequeños, suponiendo en primera instancia que indicarán las cinco líneas que conforman el pentagrama. Cabe aclarar que el método implementado de histogramas para la detección de las líneas del pentagrama es muy susceptible al ruido que pueda tener la imagen en las ya mencionadas líneas.

- **Título:** DFD Nivel 1 para Reconocedor de Patrones
- **Proceso padre:** Reconocedor de Patrones
- **DFD:**



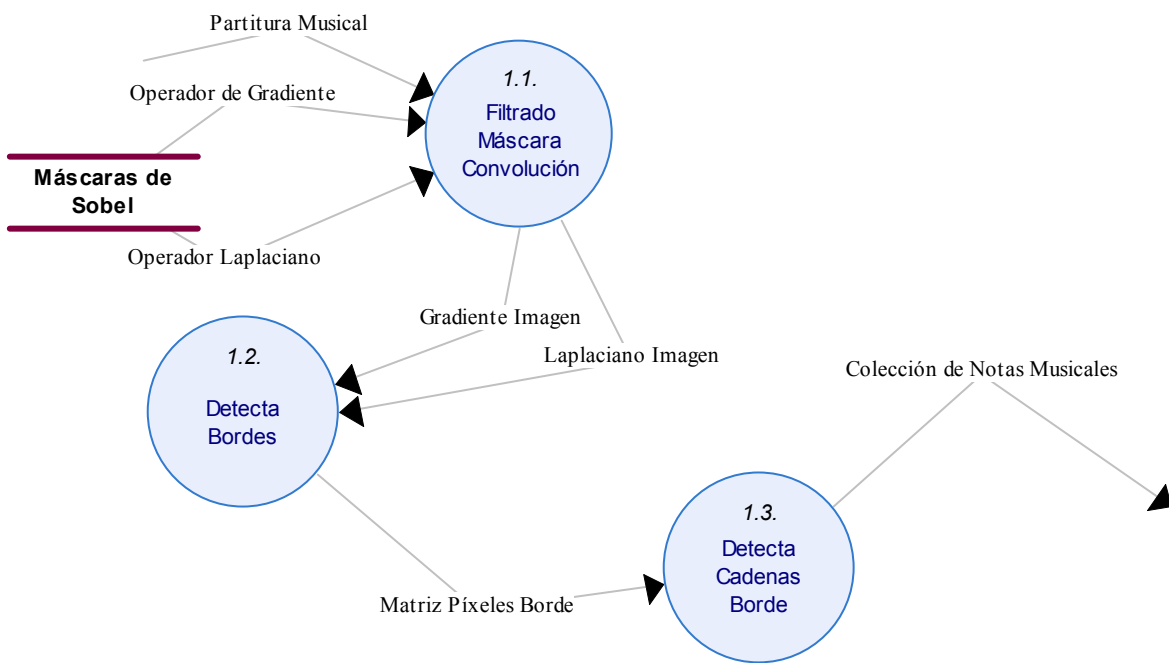
- **Descripción:**

Submódulos que componen al módulo Reconocedor de Patrones. Se reciben notas musicales segmentadas y cada una de éstas debe ser binarizada, es decir la imagen en escala de grises que contiene cada nota musical será convertida a un archivo de igual tamaño pero con unos y ceros obteniéndose de esta manera una Nota Musical Binarizada.

Esta nota musical binarizada deberá ser normalizada por medio del algoritmo de normalización de Güdsen con el único objetivo de reducir su tamaño para entonces extraer las características esenciales de cada nota musical a través de la aplicación de dos técnicas de extracción de características: los histogramas horizontales y verticales. Cada nota tendrá dos vectores de características distintos

(X Vertical y X Horizontal) pero que representan lo mismo (una nota musical específica). Cada uno de estos vectores de características constituye la información de entrada de cada uno de los clasificadores neuronales artificiales entrenados por el popular algoritmo de retropropagación. El objetivo de cada uno de estos clasificadores es distinto: por un lado uno se encarga de determinar que nota musical es debido a su posición en el pentagrama. El otro clasificador determinará que tiempo debe tocarse dicha nota, esto será determinado por su forma misma (redonda, blanca, etc.).

- **Título:** DFD Nivel 1 para Segmentación
- **Proceso padre:** Segmentación
- **DFD:**



- **Descripción:**

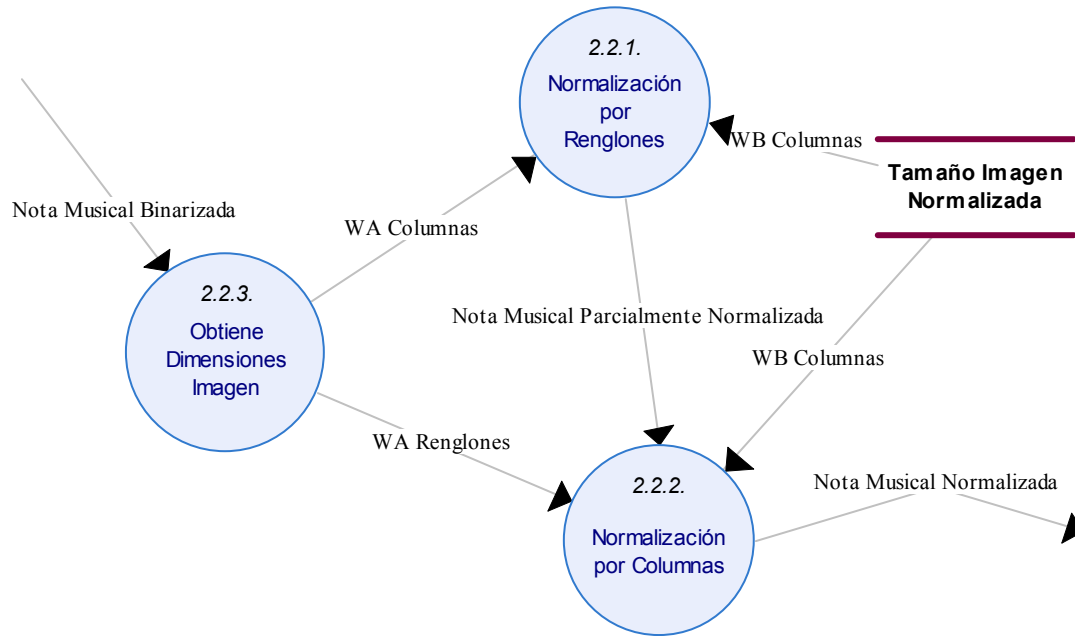
El proceso de segmentación implica la división de la partitura en sus notas musicales componentes. Este proceso sin embargo, debe realizarse por etapas, la primera fase de segmentación implica la determinación del gradiente en cada uno de los píxeles que conforman la imagen de la partitura musical, esto se logra al realizar

el proceso de convolución a través del uso de una máscara de  $3 \times 3$  con los operadores de Sobel obteniéndose una matriz de igual tamaño a la imagen original pero con una colección de números que representan el valor de la primera derivada de la imagen en cada uno de sus píxeles componentes. Todos aquellos píxeles con valor no nulo son candidatos a ser píxeles borde sin embargo se requiere de la aplicación de otro método para determinar realmente cuáles píxeles son borde y cuáles no.

El propósito de la segunda fase es precisamente determinar que píxeles son realmente bordes al obtener nuevamente mediante un proceso de filtrado o convolución una nueva matriz (Laplaciano Imagen) de igual tamaño a la matriz de gradientes pero con información sobre la segunda derivada de la imagen. Esto se logra al aplicar la máscara del Laplaciano. Se analiza esta segunda matriz (Laplaciano Imagen) y se determina que píxeles tienen cruces con cero siendo estos los píxeles que serán marcados como píxeles borde en una nueva matriz denominada Matriz Píxeles Borde.

Esta matriz será la entrada a la fase tres del proceso de segmentación, en el cual determinamos que colección de píxeles borde conforman la frontera de un objeto componente de la imagen, en este caso una de las notas musicales que conforman la partitura. El método por el cual se determinan los píxeles que conforman cadenas de bordes se denomina método de relajación de bordes y se explica con detalle en el capítulo 3.

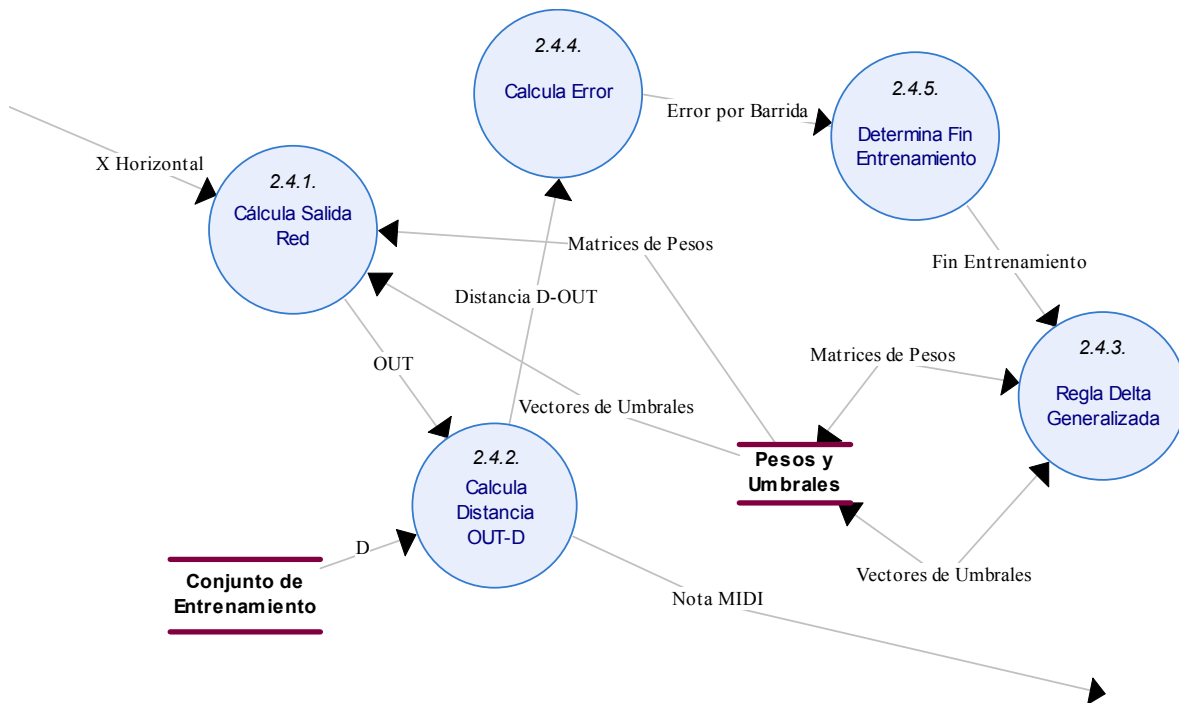
- **Diagramas de nivel 2**
  - **Título:** DFD Nivel 2 para Normalización de Güdsen
  - *Proceso padre:* Normalización de Güdsen
  - *DFD:*



- *Descripción:*

El módulo de normalización de Güdsen se especifica en este diagrama. Se requiere de una Nota Musical Binarizada, que como ya se explicó es el resultado de aplicar el proceso de Binarización a cada una de las notas musicales segmentadas. A partir de esta nota musical en forma binaria, se obtiene su tamaño en renglón y columna y se determina el tamaño deseado de la imagen normalizada. Cabe aclarar que el proceso de normalización por renglones se hace primero obteniendo una imagen de menor tamaño que la binarizada pero solo en el número de columnas, ya que el número de renglones sigue siendo el mismo. A esta imagen se le denomina Nota Musical Parcialmente Normalizada. Una vez que el proceso de normalización por columnas se lleva a cabo la imagen queda totalmente normalizada. El proceso de normalización de Güdsen a detalle se especifica en el capítulo 3.

- **Título:** DFD Nivel 2 para Clasificador Neuronal para Notas Musicales
- **Proceso padre:** Clasificador Neuronal para Notas Musicales
- **DFD:**



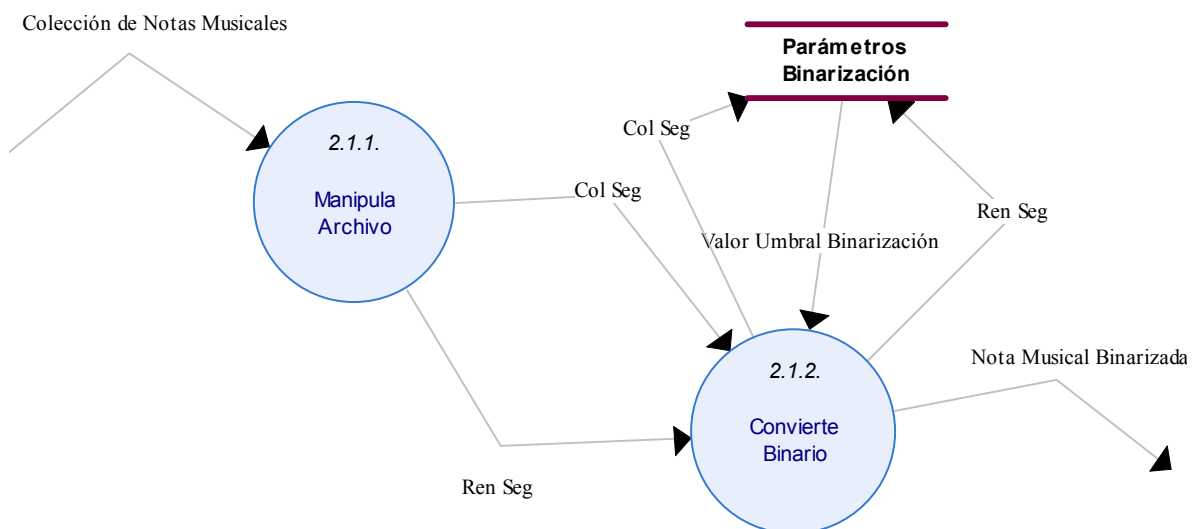
- **Descripción:**

Este diagrama especifica el proceso de reconocimiento de notas musicales debido a su posición en el pentagrama. Cabe aclarar que el DFD de Nivel 2 para el Clasificador Neuronal Tiempos Delta es prácticamente idéntico al que se muestra en este apartado. El proceso comienza por recibir el vector de características de una nota musical y de acuerdo con la arquitectura neuronal propuesta se calcula la salida de la red, representada por OUT. Se determina si reconoció o no a la nota musical en cuestión al obtener las distancias que existen entre los puntos OUT y salidas deseadas de todas las notas musicales capaces de ser reconocidas por la red aquella con menor distancia representa la nota que la red está reconociendo.



Independientemente de si reconoce correctamente o no la red durante su etapa de entrenamiento deberá modificar los valores de pesos y umbrales asociados a sus neuronas mediante la aplicación del algoritmo denominado: Regla Delta Generalizada. Esto se hará iterativamente hasta que la red cumple con alguna condición de fin de entrenamiento con lo que está lista para generalizar, es decir reconocer notas musicales aún cuando éstas traigan ruido en su vector de características. El resultado final de este proceso de reconocimiento es precisamente la posibilidad de determinar que nota es (Do, Re, etc.)

- **Título:** DFD Nivel 2 para Binarización
- **Proceso padre:** Binarización
- **DFD:**

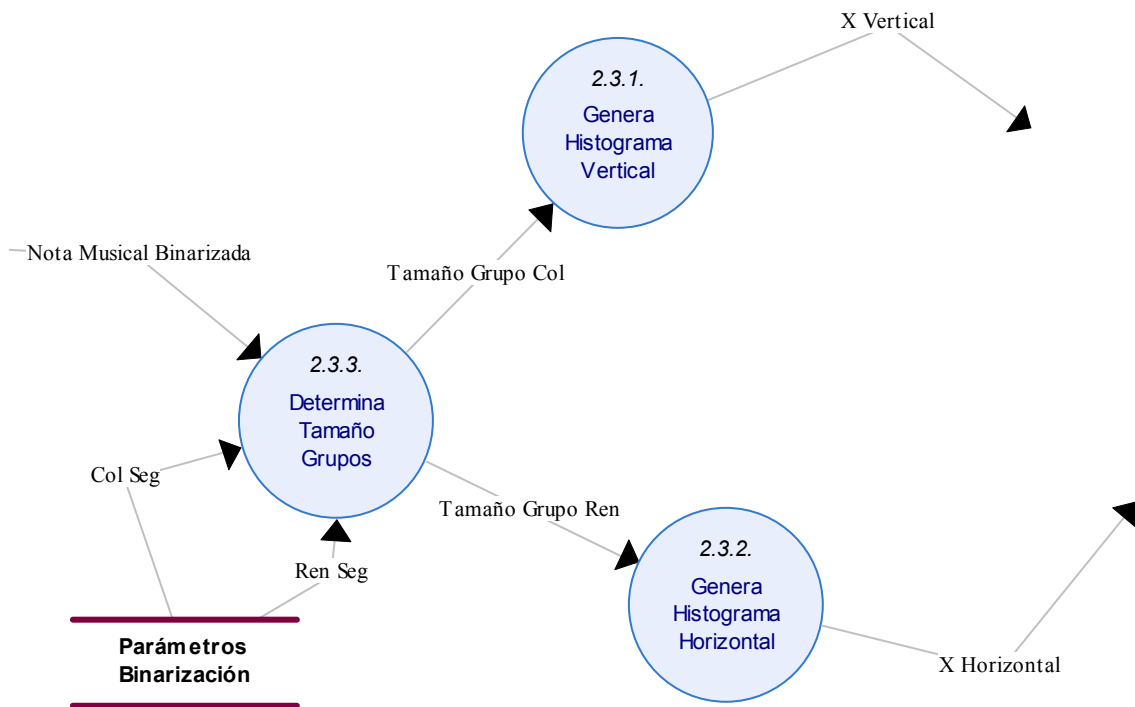


- **Descripción:**

El proceso de binarización es bastante simple, tan solo convierte una imagen en escala de grises a unos y ceros. Esto se logra ya que cada uno de los píxeles que conforman la imagen en escala de grises tiene asociado un RGB, que no es otra cosa más que una tripleta de números con valores entre 0 y 255 y que definen la cantidad de rojo, verde y azul son la que ese píxel define su intensidad. El proceso Convierte Binario determina en base a un Valor Umbral de Binarización que píxeles sobrepasan en

cuanto a su intensidad a dicho valor umbral correspondiéndoles entonces un valor de uno y cuales no, correspondiéndoles un valor de cero.

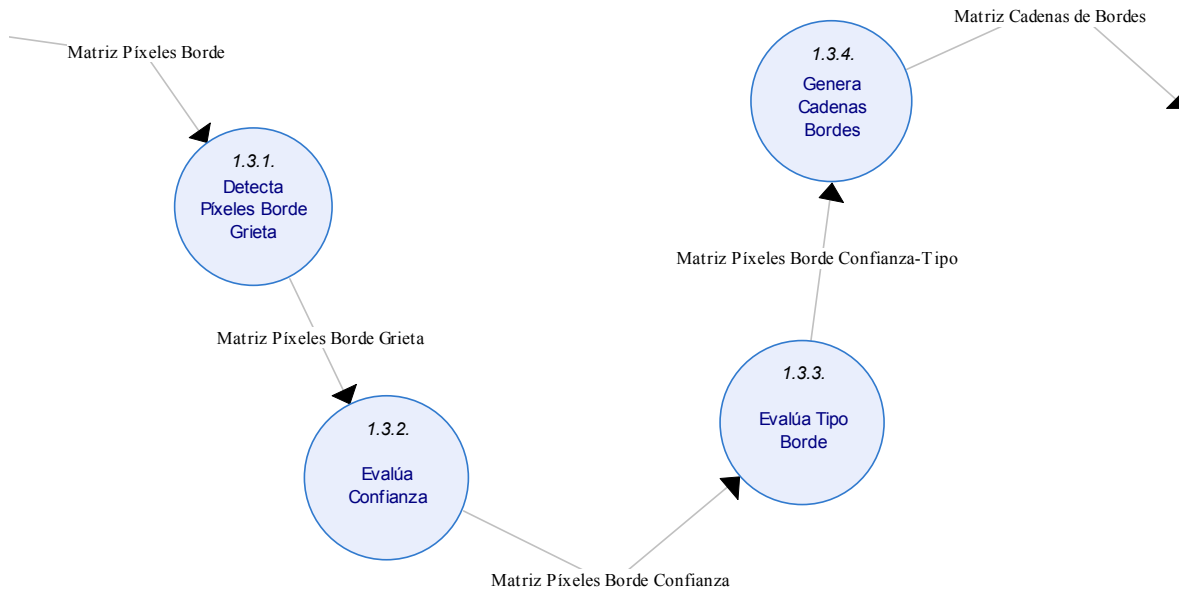
- **Título:** DFD Nivel 2 para Extracción de Características
- **Proceso padre:** Extracción de Características
- **DFD:**



- **Descripción:**

El proceso de extracción de características necesita que se le proporcione una Nota Musical Normalizada, en base al tamaño que dicha imagen tenga se determinarán el número de columnas y/o renglones que se tomarán en cuenta para la generación de histogramas verticales y/o horizontales obteniendo por consecuencia vectores de características del mismo tamaño aún si las notas musicales segmentadas son de diferentes tamaños.

- **Título:** DFD Nivel 2 para Detecta Cadenas Borde
- **Proceso padre:** Detecta Cadenas Borde
- **DFD:**



- **Descripción:**

El proceso de detección de fronteras de una partitura musical se hace mediante el algoritmo de relajación de bordes. Este algoritmo requiere que se le especifiquen píxeles borde tipo grieta y en base a la evaluación iterativa de confianzas y determinación de los tipos de borde que existen en la imagen el proceso eventualmente conecta píxeles borde conformando la frontera de una nota musical.

**A.3. Diccionario de Datos**

○ **Almacenes**

- *Tamaño Imagen Normalizada*

*Descripción:* Se define el tamaño WB columnas, WB renglones de la imagen normalizada

*Datos que parten/llegan al almacén:* WB Columnas.

*Ocurrencias del almacén:* Normalización de Güdsen.

- *Pesos y Umbrales*

*Descripción:* Matrices y vectores que representan la intensidad de las conexiones sinápticas existentes en las redes neuronales

*Datos que parten/llegan al almacén:* WB Columnas, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

*Ocurrencias del almacén:* Clasificador Neuronal para Notas Musicales.

- *Conjunto de Entrenamiento*

*Descripción:* Conjunto de pares de entrenamiento (X, D) de todas las notas musicales a ser reconocidos.

*Datos que parten/llegan al almacén:* WB Columnas, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, D.

*Ocurrencias del almacén:* Clasificador Neuronal para Notas Musicales.

- *Parámetros Binarización*

*Descripción:* Contiene datos generales de la imagen binarizada, tales como número de renglones y número de columnas, umbral de binarización, etc.

*Datos que parten/llegan al almacén:* WB Columnas, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, D, Col Seg, Ren Seg, Valor Umbral Binarización.

*Ocurrencias del almacén:* Binarización, Extracción de Características.

- *Máscaras de Sobel*

*Descripción:* Almacén de datos que contiene las máscaras de convolución de Sobel para el cálculo del gradiente y del Laplaciano de una imagen.

*Datos que parten/llegan al almacén:* WB Columnas, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, D, Col Seg, Ren Seg, Valor Umbral Binarización, Operador de Gradiente, Operador Laplaciano.

*Ocurrencias del almacén:* Segmentación.

- ***Entidades Externas***

- *Sintetizador*

*Descripción:* Hardware que interpreta el archivo MIDI producido por el SRPM

*Ocurrencias de la entidad externa:* Sistema Reconocedor de Partituras Musicales, DFD Nivel 0.

- *Transductor*

*Descripción:* Hardware que convierte una señal analógica a su forma digital.

*Ocurrencias de la entidad externa:* Sistema Reconocedor de Partituras Musicales, DFD Nivel 0, Sistema Reconocedor de Partituras Musicales, DFD Nivel 0.

- ***Procesos***

- *S.R.P.M.*

*Número de proceso:* Sin número

*Descripción:* Sistema reconocedor de partituras musicales

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Partitura Musical, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Archivo MIDI, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

- *Segmentación*

*Número de proceso:* 1.

*Descripción:* Este módulo es el encargado de dividir a la partitura musical en varias imágenes, cada una de las cuales contendrá una nota musical y parte del pentagrama

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Partitura Musical, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Colección de Notas Musicales, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

- *Reconocedor de Patronos*

*Número de proceso:* 2.

*Descripción:* Módulo encargado de reconocer las notas musicales por forma y posición en el pentagrama

*Datos entrantes:* Colección de Notas Musicales, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Nota MIDI, Tiempo Delta, Vectores de Umbrales.

- *Generador de Código MIDI*

*Número de proceso:* 3.

*Descripción:* Módulo encargado de generar el archivo MIDI con las instrucciones correspondientes que serán interpretadas por el sintetizador

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Nota MIDI, Tiempo Delta, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Archivo MIDI, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

- *Binarización*

*Número de proceso:* 2.1.

*Descripción:* Módulo encargado de convertir cada imagen a unos y ceros

*Datos entrantes:* Colección de Notas Musicales, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Nota Musical Binarizada, Vectores de Umbrales.

- *Normalización de Güdsen*

*Número de proceso:* 2.2.

*Descripción:* Módulo encargado de reducir el tamaño de cada nota musical sin perder las características esenciales de dicha nota

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Nota Musical Binarizada, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Nota Musical Normalizada, Vectores de Umbrales.

- *Extracción de Características*

*Número de proceso:* 2.3.

*Descripción:* Módulo encargado de obtener el vector de características de cada nota musical que aparece en la partitura

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Nota Musical Normalizada, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, X Horizontal, X Vertical.

- *Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Número de proceso:* 2.4.

*Descripción:* Red neuronal artificial encargada de determinar que nota musical es la presentada

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, X Horizontal.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Nota MIDI, Vectores de Umbrales.

- *Clasificador Neuronal Tiempos Delta*

*Número de proceso:* 2.5.

*Descripción:* Red neuronal artificial encargada de determinar el tiempo que debe tocarse la nota reconocida por el clasificador neuronal para notas musicales

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, X Vertical.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Tiempo Delta, Vectores de Umbrales.

- *Normalización por Renglones*

*Número de proceso:* 2.2.1.

*Descripción:* Sub-módulo que toma en cuenta el tamaño de la imagen original WA columnas y normaliza sus renglones obteniendo una nueva imagen de tamaño WB columnas

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, WA Columnas, WB Columnas.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Nota Musical Parcialmente Normalizada, Vectores de Umbrales.



- *Normalización por Columnas*

*Número de proceso: 2.2.2.*

*Descripción:* Sub-módulo que toma en cuenta el tamaño de la imagen original WA renglones y normaliza sus columnas obteniendo una nueva imagen de tamaño WB renglones

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Nota Musical Parcialmente Normalizada, Vectores de Umbrales, WA Renglones, WB Columnas.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Nota Musical Normalizada, Vectores de Umbrales.

- *Obtiene Dimensiones Imagen*

*Número de proceso: 2.2.3.*

*Descripción:* Sub-módulo encargado de obtener el tamaño en renglón y columna de la imagen original

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Nota Musical Binarizada, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, WA Columnas, WA Renglones.

- *Cálcula Salida Red*

*Número de proceso: 2.4.1.*

*Descripción:* Módulo encargado de calcular la salida obtenida de la red neuronal

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, X Horizontal.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, OUT, Vectores de Umbrales.

- *Calcula Distancia OUT-D*

*Número de proceso:* 2.4.2.

*Descripción:* Módulo encargado de calcular la distancia vectorial entre la salida obtenida de la red y la salida deseada de cada nota musical que compone el conjunto de aprendizaje

*Datos entrantes:* D, Matrices de Pesos, OUT, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Distancia D-OUT, Matrices de Pesos, Nota MIDI, Vectores de Umbrales.

- *Regla Delta Generalizada*

*Número de proceso:* 2.4.3.

*Descripción:* Módulo encargado de ejecutar el algoritmo de aprendizaje de la red neuronal

*Datos entrantes:* Fin Entrenamiento, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

- *Calcula Error*

*Número de proceso:* 2.4.4.

*Descripción:* Módulo encargado de calcular el error por cada patrón que compone el conjunto de entrenamiento

*Datos entrantes:* Distancia D-OUT, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Error por Barrida, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

- *Determina Fin Entrenamiento*

*Número de proceso:* 2.4.5.

*Descripción:* Módulo encargado de determinar si la red ha aprendido ya el conjunto de aprendizaje

*Datos entrantes:* Error por Barrida, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Fin Entrenamiento, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

- *Manipula Archivo*

*Número de proceso:* 2.1.1.

*Descripción:* Módulo encargado de aperturar el archivo BMP con la nota musical en tonos de gris y obtener dimensiones de esa imagen.

*Datos entrantes:* Colección de Notas Musicales, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Col-Seg, Matrices de Pesos, Ren-Seg, Vectores de Umbrales.

- *Convierte Binario*

*Número de proceso:* 2.1.2.

*Descripción:* Módulo encargado de verificar el RGB de cada píxel de la imagen segmentada y decidir que valor le corresponde a dicho píxel (1 ó 0), binarizando toda la nota musical.

*Datos entrantes:* Col-Seg, Matrices de Pesos, Ren-Seg, Valor Umbral Binarización, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Col-Seg, Matrices de Pesos, Nota Musical Binarizada, Ren-Seg, Vectores de Umbrales.

- *Genera Histograma Vertical*

*Número de proceso:* 2.3.1.

*Descripción:* Módulo encargado de obtener un vector de características de una nota musical en base a la técnica de histogramas verticales

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Tamaño Grupo Col, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, X Vertical.

- *Genera Histograma Horizontal*

*Número de proceso:* 2.3.2.

*Descripción:* Módulo encargado de obtener un vector de características de una nota musical en base a la técnica de histogramas horizontales

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Tamaño Grupo Ren, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales, X Horizontal.

- *Determina Tamaño Grupos*

*Número de proceso:* 2.3.3.

*Descripción:* Módulo encargado de determinar dependiendo del tamaño de la imagen binarizada el número de columnas y/o renglones a ser agrupados para generar vectores de características de un mismo tamaño independientes de tamaños distintos en notas musicales binarizadas

*Datos entrantes:* Col-Seg, Matrices de Pesos, Nota Musical Binarizada, Ren-Seg, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Tamaño Grupo Col, Tamaño Grupo Ren, Vectores de Umbrales.

- *Filtrado Máscara Convolución*

*Número de proceso:* 1.1.

*Descripción:* Módulo encargado de desplazar una máscara de Sobel a través de cada píxel de la partitura digitalizada

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Operador de Gradiente, Operador Laplaciano, Partitura Musical, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Gradiente Imagen, Laplaciano Imagen, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

- *Detecta Bordes*

*Número de proceso:* 1.2.

*Descripción:* Módulo encargado de detectar los píxeles que conforman un borde en la imagen original

*Datos entrantes:* Gradiente Imagen, Laplaciano Imagen, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde, Vectores de Umbrales.

- *Detecta Cadenas Borde*

*Número de proceso:* 1.3.

*Descripción:* Módulo encargado de segmentar por medio del método de relajación de bordes para lograr al menos una segmentación parcial de las notas musicales conectando píxeles bordes en cadenas de bordes que conforman la frontera de una nota musical dentro de una partitura musical.

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Colección de Notas Musicales, Matrices de Pesos, Vectores de Umbrales.

- *Detecta Píxeles Borde Grieta*

*Número de proceso:* 1.3.1.

*Descripción:* Módulo que determina de los píxeles marcados como píxeles borde cuales son píxeles tipo grieta

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde Grieta, Vectores de Umbrales.

- *Evalúa Confianza*

*Número de proceso:* 1.3.2.

*Descripción:* Módulo encargado de evaluar la confianza asociada con todos los píxeles borde de la imagen

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde Grieta, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde Confianza, Vectores de Umbrales.

- *Evalúa Tipo Borde*

*Número de proceso:* 1.3.3.

*Descripción:* Módulo encargado de evaluar el tipo de borde basado en la confianza de los bordes de sus vecinos

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde Confianza, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde Confianza-Tipo, Vectores de Umbrales.

- *Genera Cadenas Bordes*

*Número de proceso:* 1.3.4.

*Descripción:* Módulo encargado de determinar como se conectan las diferentes cadenas de píxeles borde en una imagen

*Datos entrantes:* Matrices de Pesos, Matriz Píxeles Borde Confianza-Tipo, Vectores de Umbrales.

*Datos salientes:* Matrices de Pesos, Matriz Cadenas de Bordes, Vectores de Umbrales.

- **Flujos**

- *Flujo entre proceso Genera Cadenas Bordes y vértice en diagrama Detecta Cadenas Borde*

*Datos del flujo:* Matriz Cadenas de Bordes

*Descripción:* Matriz con colecciones de píxeles borde que en conjunto conforman la frontera de una nota musical.

- *Flujo entre proceso Evalúa Tipo Borde y proceso Genera Cadenas Bordes en diagrama Detecta Cadenas Borde*

*Datos del flujo:* Matriz Píxeles Borde Confianza-Tipo

*Descripción:* Matriz de píxeles borde junto con la evaluación de que tipo de borde es y cual es la confianza asociada con ese borde.

- *Flujo entre proceso Detecta Píxeles Borde Grieta y proceso Evalúa Confianza en diagrama Detecta Cadenas Borde*

*Datos del flujo:* Matriz Píxeles Borde Grieta

*Descripción:* Matriz con los píxeles borde tipo grieta necesarios para ejecutar el método de relajación de bordes.

- *Flujo entre proceso Evalúa Confianza y proceso Evalúa Tipo Borde en diagrama Detecta Cadenas Borde*

*Datos del flujo:* Matriz Píxeles Borde Confianza

*Descripción:* Matriz con la confianza asociada a cada uno de los píxeles borde tipo grieta que componen a la imagen

- *Flujo entre vértice y proceso Detecta Píxeles Borde Grieta en diagrama Detecta Cadenas Borde*

*Datos del flujo:* Matriz Píxeles Borde

*Descripción:* Matriz con los píxeles borde detectados por la aplicación del gradiente y el Laplaciano.

- *Flujo entre proceso Detecta Bordes y proceso Detecta Cadenas Borde en diagrama Segmentación*

*Datos del flujo:* Matriz Píxeles Borde

*Descripción:* Matriz que contiene marcados todos los píxeles que constituyen un borde de alguna nota musical de la partitura



- *Flujo entre almacén Máscaras de Sobel y proceso Filtrado Máscara Convolución en diagrama Segmentación*

*Datos del flujo:* Operador Laplaciano

*Descripción:* Máscara de convolución que calcula la segunda derivada de una imagen dada.

- *Flujo entre almacén Pesos y Umbrales y proceso Cálcula Salida Red en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* Vectores de Umbrales

*Descripción:* Vector de valores umbrales asociados con los neuronas de las distintas capas neuronales que conforman el clasificador neuronal.

- *Flujo entre almacén Pesos y Umbrales y proceso Cálcula Salida Red en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* Matrices de Pesos

*Descripción:* Matrices de valores numéricos que representan la intensidad de las conexiones sinápticas entre distintas capas neuronales en cada uno de los clasificadores neuronales.

- *Flujo entre proceso Determina Fin Entrenamiento y proceso Regla Delta Generalizada en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* Fin Entrenamiento

*Descripción:* Valor booleano que define si se ejecuta o no el algoritmo de entrenamiento de la red

- *Flujo entre proceso Calcula Error y proceso Determina Fin Entrenamiento en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* Error por Barrida

*Descripción:* Valor numérico que representa el error asociado con la red en una barrida determinada. Este valor deberá ir disminuyendo conforme avanza el número de barridas durante la fase de entrenamiento

- *Flujo bidireccional entre almacén Pesos y Umbrales y proceso Regla Delta Generalizada en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* Vectores de Umbrales

*Descripción:* Colección de valores que umbrales. Existe uno por cada neurón y un vector por cada capa neuronal

- *Flujo bidireccional entre almacén Pesos y Umbrales y proceso Regla Delta Generalizada en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* Matrices de Pesos

*Descripción:* Colección de valores que representan la intensidad de una conexión sináptica entre dos neuronas de diferentes capas. Existe uno por cada dendrita

- *Flujo entre proceso Calcula Distancia OUT-D y proceso Calcula Error en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* Distancia D-OUT

*Descripción:* Distancia vectorial entre la salida deseada de la nota musical que se intenta reconocer y la salida obtenida dada por los pasos de cálculo de salida de una red de multiperceptrones

- *Flujo entre almacén Conjunto de Entrenamiento y proceso Calcula Distancia OUT-D en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* D

*Descripción:* Vector de salida deseada de cada nota musical

- *Flujo entre proceso Cálcula Salida Red y proceso Calcula Distancia OUT-D en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* OUT

*Descripción:* Salida obtenida de la red.

- *Flujo entre proceso Calcula Distancia OUT-D y vértice en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* Nota MIDI

*Descripción:* Reconocimiento de la nota musical debido a su posición en la partitura

- *Flujo entre vértice y proceso Cálcula Salida Red en diagrama Clasificador Neuronal para Notas Musicales*

*Datos del flujo:* X Horizontal

*Descripción:* Vector de características de una nota musical

- *Flujo entre proceso Normalización por Columnas y vértice en diagrama Normalización de Güdsen*

*Datos del flujo:* Nota Musical Normalizada

*Descripción:* Matriz de unos y ceros de menor tamaño que la nota musical binarizada pero que conserva la información más relevante de cada nota musical binarizada.

- *Flujo entre almacén Tamaño Imagen Normalizada y proceso Normalización por Columnas en diagrama Normalización de Güdsen*

*Datos del flujo:* WB Columnas

*Descripción:* Número de columnas a las que se desea reducir la imagen original.

- *Flujo entre almacén Tamaño Imagen Normalizada y proceso Normalización por Renglones en diagrama Normalización de Güdsen*

*Datos del flujo:* WB Columnas

*Descripción:* Número de columnas a las que se desea reducir la imagen original.

- *Flujo entre proceso S.R.P.M. y entidad externa Sintetizador en diagrama Sistema Reconocedor de Partituras Musicales*

*Datos del flujo:* Archivo MIDI

*Descripción:* Archivo con el código MIDI generado por SRPM

- *Flujo entre entidad externa Transductor y proceso S.R.P.M. en diagrama Sistema Reconocedor de Partituras Musicales*

*Datos del flujo:* Partitura Musical

*Descripción:* Mapa de bits con la partitura musical digitalizada

- *Flujo entre entidad externa Transductor y proceso Segmentación en diagrama DFD Nivel 0*

*Datos del flujo:* Partitura Musical

*Descripción:* Imagen resultante de escanear una partitura musical

- *Flujo entre proceso Generador de Código MIDI y entidad externa Sintetizador en diagrama DFD Nivel 0*

*Datos del flujo:* Archivo MIDI

*Descripción:* Archivo con una colección de instrucciones MIDI y que al ejecutarse en su totalidad interpreta la melodía escrita en la partitura musical.

- *Flujo entre proceso Segmentación y proceso Reconocedor de Patrones en diagrama DFD Nivel 0*

*Datos del flujo:* Colección de Notas Musicales

*Descripción:* Notas musicales segmentadas. Una en cada archivo.

- *Flujo entre proceso Reconocedor de Patrones y proceso Generador de Código MIDI en diagrama DFD Nivel 0*

*Datos del flujo:* Nota MIDI

*Descripción:* Número que representa una nota en código MIDI.

- *Flujo entre proceso Reconocedor de Patrones y proceso Generador de Código MIDI en diagrama DFD Nivel 0*

*Datos del flujo:* Tiempo Delta

*Descripción:* Valor que representa el tiempo que debe transcurrir entre la ejecución de una cierta instrucción MIDI y otra..

- *Flujo entre proceso Binarización y proceso Normalización de Güdsen en diagrama DFD Nivel 1 para Reconocedor de Patrones*

*Datos del flujo:* Nota Musical Binarizada

*Descripción:* Archivo de texto con la nota musical binarizada

- *Flujo entre proceso Normalización de Güdsen y proceso Extracción de Características en diagrama DFD Nivel 1 para Reconocedor de Patrones*

*Datos del flujo:* Nota Musical Normalizada

*Descripción:* Archivo de texto binario con la información esencial de la nota musical y cuyo tamaño es necesariamente menor que le de la nota musical binarizada

- *Flujo entre proceso Extracción de Características y proceso Clasificador Neuronal Tiempos Delta en diagrama DFD Nivel 1 para Reconocedor de Patrones*

*Datos del flujo:* X Vertical

*Descripción:* Vector de características de la nota musical obtenido por histogramas verticales hechos a la nota musical segmentada

- *Flujo entre proceso Extracción de Características y proceso Clasificador Neuronal para Notas Musicales en diagrama DFD Nivel 1 para Reconocedor de Patrones*

*Datos del flujo:* X Horizontal

*Descripción:* Vector de características obtenido por medio de histogramas horizontales hechos a la nota musical segmentada

- *Flujo entre proceso Obtiene Dimensiones Imagen y proceso Normalización por Renglones en diagrama Normalización de Güdsen*

*Datos del flujo:* WA Columnas

*Descripción:* Número de columnas de la imagen binarizada

- *Flujo entre proceso Obtiene Dimensiones Imagen y proceso Normalización por Columnas en diagrama Normalización de Güdsen*

*Datos del flujo:* WA Renglones

*Descripción:* Número de renglones de los que se compone la imagen binarizada

- *Flujo entre proceso Normalización por Renglones y proceso Normalización por Columnas en diagrama Normalización de Güdsen*

*Datos del flujo:* Nota Musical Parcialmente Normalizada

*Descripción:* Imagen tan solo normalizada por renglones y a la cual le falta ser normalizada por columnas

- *Flujo entre proceso Manipula Archivo y proceso Convierte Binario en diagrama Binarización*

*Datos del flujo:* Col Seg

*Descripción:* Número de columnas que tiene la imagen segmentada.

- *Flujo entre proceso Manipula Archivo y proceso Convierte Binario en diagrama Binarización*

*Datos del flujo:* Ren Seg

*Descripción:* Número de renglones que tiene la imagen segmentada.

- *Flujo entre almacén Parámetros Binarización y proceso Convierte Binario en diagrama Binarización*

*Datos del flujo:* Valor Umbral Binarización

*Descripción:* Valor que permite tomar una decisión sobre la intensidad que tiene un píxel.

- *Flujo entre proceso Determina Tamaño Grupos y proceso Genera Histograma Vertical en diagrama Extracción de Características*

*Datos del flujo:* Tamaño Grupo Col

*Descripción:* Número de columnas a ser tomadas en cuenta para la generación de un bit del vector de características al aplicar el algoritmo de histogramas verticales.

- *Flujo entre proceso Determina Tamaño Grupos y proceso Genera Histograma Horizontal en diagrama Extracción de Características*

*Datos del flujo:* Tamaño Grupo Ren

*Descripción:* Número de renglones a ser tomados en cuenta para la generación de un bit del vector de características al aplicar el algoritmo de histogramas horizontales..

- *Flujo entre proceso Filtrado Máscara Convolución y proceso Detecta Bordes en diagrama Segmentación*

*Datos del flujo:* Gradiente Imagen

*Descripción:* Matriz con los valores del gradiente de la imagen en cada píxel

- *Flujo entre proceso Filtrado Máscara Convolución y proceso Detecta Bordes en diagrama Segmentación*

*Datos del flujo:* Laplaciano Imagen

*Descripción:* Matriz del mismo tamaño que la imagen digitalizada con los valores numéricos que representan el valor de la segunda derivada en un píxel dado

- *Flujo entre almacén Máscaras de Sobel y proceso Filtrado Máscara Convolución en diagrama Segmentación*

*Datos del flujo:* Operador de Gradiente

*Descripción:* Máscara de convolución para el cálculo de gradiente de una imagen.