

**DISPOSITIVO CONVERSOR DE NOTA MUSICAL A NOTA MIDI PARA BAJO
ELÉCTRICO.**

ANDRÉS RIPE RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
FACULTAD INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ, D.C.
2008**

**DISPOSITIVO CONVERSION DE NOTA MUSICAL A NOTA MIDI PARA BAJO
ELÉCTRICO.**

ANDRÉS RIPE RODRÍGUEZ

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE SONIDO

Alejandro Carrillo

Ingeniero De Sonido

Manuel Joves

Metodología de Proyectos

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
FACULTAD INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ, D.C.
2008**

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. 19 de Mayo de 2008

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su apoyo emocional y financiero lograron hacer lo posible para que pudiera culminar esta etapa como universitario y emprendiera una nueva etapa como profesional.

A mi esposa, quien con su compañía y ayuda emocional mitigo las dificultades en los momentos en el que el camino no se mostraba fácil.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y a mi esposa; familiares, profesores y compañeros que de una u otra forma me enseñaron a ser mejor persona tanto en el aspecto personal como profesional, en el transcurso de esta etapa como universitario.

INTRODUCCIÓN	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 ANTECEDENTES	18
1.3 DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA	21
1.4 JUSTIFICACION	22
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	23
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	24
1.6.1 Alcances	24
1.6.2 Limitaciones	24
2 MARCO DE REFERENCIA	25
2.1 MARCO CONCEPTUAL	25
2.1.1 CONCEPTOS BASICOS DE SONIDO	25
2.1.2 CONCEPTOS BASICOS DE MUSICA VINCULADA A LA FISICA	34
2.1.3 CONCEPTOS BASICOS DE SISTEMAS Y SEÑALES	36
☐ PARTE PAR E IMPAR DE UNA SEÑAL	37
2.1.4 CONCEPTOS BASICOS DE MIDI	43
2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO	46
2.2.1 NORMATIVIDAD EN COLOMBIA SOBRE LA PROPIEDAD INTELECTUAL	48
2.3 MARCO TEORICO	50
2.3.1 TEORIA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS DE CUERDA	50
2.3.2 TEORIA PARA LA TRANSFORMADA DE FOURIER	65
2.3.3 TEORIA DEL ALGORITMO FFT (FAST FOURIER TRANSFORM)	69
2.3.4 TEORIA PARA LA AUTOCORRELACION	69
2.3.5 TEORIA PARA LA CONVERSION ANALOGO DIGITAL	71
2.3.6 TEORIA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS DSP	83
2.3.7 TEORIA DE FUNCIONAMIENTO PARA EL PROTOCOLO MIDI	92
3 METODOLOGIA.	114
3.1 ENFOQUE DE LA INVEVESTIGACION	114
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN, SUB – LINEA DE FACULTAD Y CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	114
3.3 TÈCNICAS DE RECOLECCIÒN DE INFORMACIÒN.	115
3.4 HIPÓTESIS.	116

3.5	VARIABLES	116
3.5.1	Variables Independientes:	116
3.5.2	Variables Dependientes:	116
4	DESARROLLO INGNIERIL	117
4.1	EXPLORACION DEL RANGO DE FRECUENCIA DEL INSTRUMENTO MUSICAL. (Bajo Eléctrico)	119
4.2	DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE EL INSTRUMENTO Y EL ALGORITMO MATEMÁTICO.	126
4.3	DESARROLLO DEL ALGORITMO DE FILTRADO E IDENTIFICACIÓN DE FRECUENCIA EN LA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN MATEMÁTICA <i>MATLAB</i> Y SU APLICACIÓN <i>SIMULINK</i> .	129
4.4	INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SEÑAL DE ENTRADA RECIBIDA POR EL ALGORITMO MATEMÁTICO.	139
4.5	SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO DE SEÑAL.	144
4.6	VINCULACIÓN DEL ALGORITMO CONVERSOR Y EL SOFTWARE DE PRODUCCIÓN MUSICAL.	145
4.7	PRESENTACIÓN DE INFORME DE LOS ELEMNTOS QUE INTERVINIERON EN EL PROYECTO	149
5	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	153
5.1	ANALISIS DE RESULTADO DE LA EXPLORACION DEL RANGO DE FRECUENCIA DEL INSTRUMENTO MUSICAL. (Bajo Eléctrico)	153
5.2	ANALISIS DE RESULTADO PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE EL INSTRUMENTO Y EL ALGORITMO MATEMÁTICO.	154
5.3	ANALISIS DEL DESARROLLO DEL ALGORITMO DE FILTRADO E IDENTIFICACIÓN DE FRECUENCIA EN LA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN MATEMÁTICA <i>MATLAB</i> Y SU APLICACIÓN <i>SIMULINK</i> .	157
5.4	ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SEÑAL DE ENTRADA RECIBIDA POR EL ALGORITMO MATEMÁTICO	158
5.5	ANALISIS DE RESULTADOS DE SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO DE SEÑAL.	159
5.6	ANALISIS DE LA VINCULACIÓN DEL ALGORITMO CONVERSOR Y EL SOFTWARE DE PRODUCCIÓN MUSICAL.	160
5.7	PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO FINAL.	162

6	CONCLUSIONES	165
7	RECOMENDACIONES	168
	BIBLIOGRAFIA	170

TABLA DE ILUSTRACIONES

Fig. 1: Relación De Entre Altas Y Bajas Frecuencias	26
Fig. 2: Amplitud de una onda sinusoidal.	27
Fig. 3: Longitud de onda (λ) del sonido	28
Fig. 5: Bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz	31
Fig. 6 Tono puro y su espectro frecuencial.	32
Fig. 7: Sonido periódico complejo y su espectro frecuencial	33
Fig. 8: Pulso rectangular y su espectro frecuencial.	33
Fig. 9 bajo Eléctrico marca Fender	35
Fig. 10: cuadro de notas musicales y su respectiva frecuencia	36
Fig 11: Cuerda, Centros De Masa Y Desplazamientos	51
Fig 14: Emulación De Cuerda Y Sus Nodos	54
Fig 13: representación de onda completa	56
Fig 13: Seis primeros armónicos	64
Fig 14: espectro de una cuerda pulsada 1/3 de su longitud.	65
Fig 14: frecuencia grave y aguda	73
Fig 15: esquema de conversión simple	74
Fig 17: senoide correspondiente a un sonido grave en estado puro, es decir, sin armónicos añadidos y de intensidad constante, como el que produce el disparo de un cañón antiguo cuando se escucha de lejos.	75
Fig 18: representación gráfica de una senoide o señal analógica correspondiente a un sonido agudo, también puro y de intensidad constante como, por ejemplo, el de una sirena. En el caso específico de	

un sonido grave como el de la izquierda, el micrófono genera una tensión más débil que cuando el sonido es agudo. Eso se debe a que la amplitud o altura de la onda en el primer ejemplo es más reducida que en el segundo.

Fig 19: frecuencia, amplitud, periodo y representación en voltios de una onda sinusoidal.

Fig 22: Representación gráfica de medio ciclo positivo (+), correspondiente a una señal eléctrica analógica de sonido, con sus correspondientes armónicos. Como se podrá observar, los valores de variación de la tensión o voltaje en esta senoide pueden variar en una escala que va de "0" a "7" voltios.

Fig 23: Para realizar el muestreo (sampling) de una señal eléctrica analógica y convertirla después en digital, el primer paso consiste en tomar valores discretos de tensión o voltaje a intervalos regulares en diferentes puntos de la onda sinusoidal.

Fig 24: Proceso de cuantización (quantization) de la señal eléctrica analógica para su conversión en señal digital

Fig 25: La codificación permite asignarle valores numéricos binarios equivalentes a los valores de tensiones o voltajes que conforman la señal eléctrica analógica original.

Fig 27: unidad aritmética de los DSP

Fig 28: multiplicador construido a base de puertas lógicas

Fig 29: Tabla De Frecuencias, Notas Y Equivalencia En Numero MIDI.

Fig 30: Primer "Mi" para la cuarta cuerda.

Fig 31: "C" para la tercera cuerda

Fig 32: "MI" de la tercera cuerda

Fig 33: "Mi" segunda cuerda

Fig 34: "D#" Re sostenido primera cuerda ultima nota del instrumento

Fig: 35 Pastillas o Micrófonos "Single Coil" en un Bajo tipo Jazz Bass

Fig 37: Entorno De Trabajo De MATLAB	129
Fig 38: vinculación instrumento y laptop	131
Fig. 39 Configuraron del BASS2MIDI	132
Fig 40: Bajo eléctrico de 4 cuerdas	149
Fig 41: Computador portátil COMPAQ V 2000	150
Fig 42 entorno de trabajo de matlab	152
Fig 43 Roland GK 2A	155
Fig 44: configuración del windsoud	156
Fig 44: entorno del bass2midi en simulink	157
Fig 45: entorno del dispositivo conversor	158
Fig 46: entorno de Reason y el dispositivo conversor	161
Fig 47: grabación mediante la interpretación del bajo y el dispositivo conversor	161

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Longitud de onda _____	28
Ecuación 2: Ecuación de una función Par. _____	37
Ecuación 3: Ecuación de una función Impar. _____	38
Ecuación 4: Ecuación de un sistema lineal. _____	40
Ecuación 5: señal $x(t)$ y desplazamiento T _____	40
Ecuación 6: Ecuación de respuesta al impulso para un sistema lineal _____	40
Ecuación 7: Ecuación para la transformada de Fourier _____	41
Ecuación 8: Ecuación para la transformada discreta de fourier _____	42
Ecuación 9: deformación del elemento dx _____	51
Ecuación 10 deformación del elemento dx aplicando la segunda ley de Newton _____	52
Ecuación 11 deformación del elemento dx aplicando la ley de Hooke _____	52
Ecuación 12: ecuación de ondas _____	52
Ecuación 14: onda incidente _____	54
Ecuación 16: oscilación de la cuerda. _____	54
Ecuación 17: oscilación de la cuerda _____	55
Ecuación 18 posición de los nodos _____	57
Ecuación 19: posición de vientres _____	57
Ecuación 20 ecuación de velocidad para los armónicos _____	60
Ecuación 21: frecuencia natural. _____	62
Ecuación 22: frecuencias producidas por una cuerda de longitud L _____	63
Ecuación 23: aplicación de la ecuación de Fourier. _____	67
Ecuación 24: calculo de $f(x)$ a partir de la ecuación $f(u)$ _____	67
Ecuación 25: expresión general de $F(u)$ _____	67
Ecuación 26: espectro de frecuencia de $F(u)$ _____	68
Ecuación 27: transformada de Fourier directa en 2D _____	68

Ecuación 28 ecuación de autocorrelacion_____	70
Ecuación 29: autocorrelacion discreta _____	70
ecuación 30: autocorrelacion para señales centradas alrededor de cero ____	71
Ecuación 31: autocorrelacion en tres dimensiones. _____	71

GLOSARIO

A/D, AD: Abreviatura de Analógico a Digital y *Analog to Digital*. Relativo a la conversión de una señal analógica a digital.

ADC: *Analog to digital converter*. Convertidor analógico a digital

AMPLIFICADOR. *Amplifier*. Dispositivo electrónico que amplifica una señal eléctrica. *Distribution amplifier*. Dispositivo electrónico que permite la copia sin pérdidas de una señal de entrada a varias salidas. También se usa el término "distribuidor". Compare con *splitter* y cable-Y. ~ de potencia. *Power Amplifier*. Dispositivo para amplificar una señal con el fin de alimentar un altavoz.

ANALÓGICO. *Analog*. Relativo a la representación de una señal como un nivel continuamente variable.

ATENUACIÓN. *Attenuation*. Ganancia negativa. Disminución del nivel de una señal.

AUDIO. *Audio*. 1. Conjunto de técnicas y elementos de captación, grabación, reproducción, tratamiento, transmisión y refuerzo de sonidos. 2. Material auditivo grabado, reproducido, tratado o transmitido.

BAJISTA. *Bass player, bassist*.

BOBINA. *Coil*. Componente eléctrico que consiste en el arrollamiento de un conductor, habitualmente alrededor de un soporte cilíndrico, que proporciona una impedancia proporcional a la frecuencia.

CARGA. *Load*. 1. Resistencia que ha de vencer un dispositivo. En refuerzo de sonido las cargas son mecánicas (peso), eléctricas (impedancia eléctrica) o acústicas (impedancia acústica).

CRESTA, FACTOR DE. *Crest factor*. Relación entre la potencia de los picos y la potencia de la media de una señal. Puede expresar como la relación entre ambos de forma lineal o en decibelios. Por ejemplo, para las pruebas de potencia de altavoces suele usarse ruido con un factor de cresta de 4, que equivale a 6 dB.

DIA, DA. Abreviatura de Digital a Analógico y *Digital to Analog*. Relativo a la conversión de una señal digital a analógica.

dB. Decibelio. *Decibel*.

DIGITAL. *Digital*. Relativo a la representación de una señal mediante una serie de valores numéricos tomados a intervalos regulares.

ESPECTRO. *Spectrum*. Contenido de frecuencias de una señal. **Analizador de ~.** *Spectrum analyzer*. Dispositivo que mide el contenido de frecuencias de una señal de medida, lo que permite especificar la respuesta en frecuencia de un sistema. A veces se usa el término espectrógrafo acústico.

FFT. Abreviatura de *Fast Fourier Transform*, transformada rápida de Fourier. Procedimiento rápido de cálculo de la transformada de Fourier.

IMPEDANCIA. *Impedance*. Oposición a la corriente alterna. Es función de la frecuencia. Compare con resistencia. **Alta ~.** Los instaladores electricistas suelen etiquetar como "alta impedancia" a los sistemas que utilizan cajas acústicas con transformador de entrada. **Baja ~.** Los instaladores electricistas suelen etiquetar como "baja impedancia" los sistemas que utilizan cajas acústicas convencionales (sin transformador).

INTERFERENCIA. *Interference.* Superposición de dos o más ondas que proceden de la misma fuente. ~ constructiva. Aquella en la que la fase de las ondas es la misma o lo suficientemente cercana como para que la suma resultante sea mayor a la mayor de las ondas. ~ destructiva. Aquella en la que la fase de las ondas es lo suficientemente diferente como para producir una disminución de amplitud respecto del nivel de la onda mayor. Cuando se habla de interferencia sin especificar si es constructiva o destructiva, suele tratarse de esta última.

PASIVO. *Passive.* Altavoz. 1. Circuito o dispositivo que no utiliza alimentación de corriente eléctrica para funcionar. 2. Caja acústica o altavoz que se amplifica con un solo canal de amplificador. Contrario a activo.

PASO-BAJO. *Low-pass.* Tipo de filtro que elimina las frecuencias por encima de su frecuencia de corte. A menudo abreviado como LPF (Low-pass filter)

SENSIBILIDAD. *Sensitivity.* 1. Presión sonora de un altavoz medida o referida a una distancia y con una entrada de potencia dadas, normalmente 1m y 1W. 2. Presión sonora de un auricular para una potencia de entrada dada, normalmente 1 mW. 3. Voltaje generado a la salida de un micrófono en respuesta a una presión sonora de referencia, normalmente 94 dB SPL y 1 kHz. 3. En un amplificador de potencia, voltaje de entrada requerido para generar la máxima potencia de salida a una impedancia dada. 4. En un dispositivo de electrónica de audio en general, nivel de entrada requerido para generar un nivel nominal de salida.

SINUSOIDE. *Sine, sinewave.* Onda que contiene una sola frecuencia. Es la forma de onda más sencilla. Las formas de onda complejas se componen de sinusoides de diferentes frecuencias y niveles. Oficialmente no existe la palabra "senoidal", aunque se emplea habitualmente como sinónimo.

INTRODUCCIÓN

Desde que en 1981 Dave Smith presidente de la compañía Sequential Circuits propuso el estándar MIDI se vislumbraba un futuro práctico y funcional a la hora de vincular la tecnología digital del momento con la producción musical, Cabe aclarar que MIDI no transmite señales de audio, sino datos de eventos y mensajes controladores que se pueden interpretar de manera arbitraria, de acuerdo con la programación del dispositivo que los recibe. Es decir, MIDI es una especie de "partitura" que contiene las instrucciones en valores matemáticos (0-127) sobre cuándo generar cada nota de sonido y las características que debe tener; el aparato al que se envíe dicha partitura la transformará en música audible. La particularidad de estos dispositivos de interpretación del protocolo MIDI hace referencia a que provienen directamente de instrumentos netamente electrónicos, abriendo una brecha entre la tecnología musical digital y el sonido natural de las interpretaciones acústicas análogas. Dejando a la expectativa la vinculación futura de estos dos aspectos importantes a la hora de realizar una producción musical.

En la actualidad la gran mayoría de los creadores musicales utilizan el lenguaje MIDI a fin de llevar a cabo la edición de partituras y la instrumentación previa a la grabación con instrumentos reales. Sin embargo, la perfección adquirida por los sintetizadores en la actualidad lleva a la utilización de forma directa en las grabaciones de los sonidos resultantes del envío de la partitura electrónica a dichos sintetizadores de última generación, por esta razón bajo las pautas de este proyecto se pretende ampliar el campo del lenguaje MIDI no solo a los instrumentos electrónicos sino a lograr una conversión ideal con instrumentos acústicos convencionales.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2 ANTECEDENTES

Los dispositivos de Conversión de nota musical a nota MIDI se han realizado a nivel mundial desde hace algunos años, avistando una gran solución para aquellos músicos inquietos en el tema, pero los cuales deben ser concientes del proceso de investigación científica que esto lleva de antemano. La marca japonesa ROLAND establecida en 1972 y con más de 30 años de experiencia lleva una pequeña luz en este tipo de dispositivos. Investigando y realizando pruebas recientemente ha logrado realizar dispositivos como los ROLAND GI-10, GR-33, VG-88, AIX-101 y El GK3 las cuales son interfaces de conversión de nota musical a nota MIDI y funcionan con algunos de los secuenciadores mas importantes del mercado, dando facilidad para este tipo de conversión pero siendo imprecisos y limitados a la hora de su implementación. Por otra parte la marca también japonesa Yamaha ha construido el EZ-GA, un dispositivo que los guitarristas debían utilizar para facilitar el aprendizaje de su instrumento pero que se utiliza para controlar y mantener acordes por un periodo prolongado de tiempo, ya que esta clase de dispositivos funcionan monofonicamente, estos como el EZ-GA permiten ser implementados en acordes con periodos de ejecución muy cortos pues tiene a tomar interpretaciones que poco reales.

En el contexto latinoamericano se ha desechado un poco la idea de la construcción de estos dispositivos de conversión ya que las franquicias de las marcas japonesas residentes en los estados unidos limitan sus ideales a la venta y la compra dejando a un lado la investigación y la producción, dimitiendo a la

adelanto tecnológico del continente americano en el comienzo de la producción de este tipo de dispositivos.

Antecedente.

- Proyecto final de carrera, escuela universitaria de ingeniería técnica 2006
Autor: **Albert Molina Reverte**. Titulo: conversor wave a midi en tiempo real para guitarras eléctricas

En Colombia la universidad Distrital Antonio Nariño ha realizado alguna clase de estudios de este tipo por medio de sus alumnos especialistas en el campo de la música y las artes, trayendo a construcción algunos dispositivos de conversión analógica a nota MIDI, abriendo la puerta en este tipo de implementos, pero como en todo comienzo de investigación, con resultados seguramente no esperados. Esto trae consigo que se adelanten investigaciones en este campo y que a su vez den el paso siguiente los estudiantes, técnicos, tecnólogos y profesionales en el campo del sonido y la música para realizar y producir este tipo de dispositivos conversores en Colombia.

Cuando se habla de un dispositivo de conversión de nota musical a nota MIDI se tendría que entender primero que es MIDI para de esta manera conocer hacia donde nos lleva el desarrollo de este proyecto.

Hablar de MIDI es remontarnos finales de los años 70 en donde se empezaba a incursionar de manera tímida en el ámbito electrónico; Los inicios de toda innovación tecnológica han estado siempre caracterizados por la disparidad de criterios y la dispersión de esfuerzos. Cada fabricante trata de sustentar sus propias soluciones aún a costa de crear un mar de confusiones entre los usuarios. Smith y Chet Wood (un colaborador de Sequential) definieron las primeras especificaciones de un estándar que dio en llamarse USI (Universal Synthesizer

Interface). La primera presentación pública de las mismas tuvo lugar en la Convención de otoño de la AES en 1981. La principal diferencia entre el SCI y el USI estribaba en que, mientras que el primero exploraba continuamente y de modo sincrónico el estado del teclado (tanto si tenía lugar o no una variación), el segundo solo enviaba datos de modo asíncrono cuando se producía un evento (por ejemplo. al pulsar una nota) La propuesta era: transmisión serie a 19,2 kilobaudios, (la misma que la del RS-232), niveles lógicos TTL (de 0 a +5 Voltios) y jacks estéreo convencionales como conectores.

En un encuentro posterior (en el marco de la NAMM en Enero de 1982), al que asistieron numerosos representantes técnicos de las principales marcas, se acordó aumentar la velocidad de transmisión a 31,2 Kbaudios, y añadir opto acopladores a todos los terminales de entrada (para evitar problemas de puestas a masa). El toque de gracia de lo que sería el MIDI, lo dieron un grupo de compañías japonesas. Idearon un protocolo más ingenioso y elaborado que permitía utilizar el interface para aplicaciones mucho más complejas: el famoso séptimo bit que define cuando un byte es de datos o de estado, en función de si adopta un valor lógico 0 ó 1 respectivamente. El protocolo de comunicación resultante de las ideas de unos y otros terminó por bautizarse como MIDI (Musical Instrument Digital Interface), y el primer instrumento de la historia dotado con MIDI apareció en el mercado en Diciembre de 1982: el Prophet-600. A pesar de todo, la discusión no finalizó ahí. Inicialmente se produjeron acalorados desacuerdos en torno a cuestiones como la de adoptar la transmisión en serie en lugar de en paralelo: ésta última es mas rápida pero, en aras de la economía, se adoptó la primera. Firmas como Oberheim y Rhodes continuaron trabajando un corto periodo de tiempo con sus propias versiones de las interfases en paralelo, aunque pronto abandonaron a la vista de la rápida implantación del MIDI, y por los problemas técnicos de su propuesta. Dada la mayor susceptibilidad a las interferencias de una interfase paralela, la longitud de los cables de interconexión

se ve sensiblemente limitada. También hubo una cierta falta de acuerdo acerca del tipo de conector a emplear.

Octave Plateau incorporó conectores Canon XRL en su modelo Voyetra 8 así como algunas diferencias de interpretación del estándar, como sucedió con el modelo MONO; pero hoy son pura anécdota.

Por esta razón el dispositivo que podría abrir la puerta a las interpretaciones no electrónicas por medio del MIDI es el conversor que se propone en este proyecto, ya que vincularía los elementos acústicos y electro acústicos en este tipo de lenguaje de comunicación.

Algunos conversores MIDI para guitarra como el roland GK – 2A y otros mencionados con anterioridad en el comienzo de estos antecedentes Puede incluir un micrófono o entrada de línea los cuales captan la señal de audio determinando la frecuencia y produciendo una señal MIDI cuya información contiene la nota musical, momento de disparo y en algunos casos el volumen. Este método es monofónico lo cual significa que puede captar y reproducir de a una nota por vez y muy impreciso. También permite controlar el MIDI a través de la voz u otro instrumento.

1.3 DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta que el lenguaje de comunicación MIDI se empieza a aplicar en instrumentos electroacústicos de usos no convencionales para este tipo de comunicaciones como los instrumentos de cuerda, en específico para la guitarra eléctrica, y atados a dispositivos externos que hacen de este diseño único, algo costoso y exclusivo. Se plantea la inquietud solventar este mismo problema con aras a la mejora, de un instrumento que para quien hace parte del entorno musical

es el mas importante en referencia al aspecto armónico de una composición musical moderna. Este es el Bajo Eléctrico. De esta manera se plantea la pregunta que daría comienzo al proceso investigativo con miras a su posible solución.

¿Cómo diseñar, construir e implementar un dispositivo capaz de convertir una frecuencia de audio convencional al lenguaje de protocolo MIDI para bajo eléctrico?

1.4 JUSTIFICACION

Debido a la implementación del MIDI en el campo electro-acústico y de producción musical los profesionales en el ámbito discográfico han logrado que sus pre-producciones y producciones sean mas practicas funcionales y precisas, por lo cual están ahorrando esfuerzos en aspectos importantes como tiempo y dinero, estos, fundamentales para la parte ejecutiva a la hora de financiar un proyecto.

Ahondando en el aspecto musical, se sabe de antemano que el bajo y los instrumentos percutidos son la base fundamental de cualquier pieza musical, dando así el punto de partida para el desarrollo de cualquier proyecto sonoro.

En cuanto a la labor educativa y el impacto que debe causar en la sociedad todo proyecto académico, este pretende instruir de manera didáctica y practica todo el proceso que se debe cumplir para el desarrollo del protocolo de comunicación vía MIDI, además de abrir la puerta a la vinculación, no solo de dispositivos electrónicos, si no cualquier instrumento electro-acústico.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un Dispositivo conversor de Nota Musical a Nota MIDI para Bajo Eléctrico.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Diseñar mediante una plataforma de simulación matemática los filtros para cada frecuencia que se incorporarán al dispositivo encargado de la conversión.

Programar en un procesador de señal digital el lenguaje de reconocimiento de frecuencia y conversión a lenguaje Digital.

Implementar la comunicación digital basada en protocolo MIDI para ser reproducido con un sintetizador en hardware ó software.

Construir un dispositivo ergonómico y funcional al instrumento musical propuesto.

Obtener de manera didáctica que los estudiantes comprendan el proceso de conversión análogo a lenguaje MIDI.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.6.1 Alcances

El alcance final de este proyecto abarca aspectos tecnológicos relacionados en el campo electro acústico y de producción musical que facilitaran a los músicos, productores e ingenieros los procesos a la hora de realizar sus proyectos discográficos. Además de implementarlo en el campo experimentado el proyecto pretende lograr que los estudiantes de la Universidad de San Buenaventura tengan una noción práctica para el análisis y la construcción de este tipo de conversión sonora.

1.6.2 Limitaciones

Debido a la cantidad de notas musicales en sus diferentes escalas producidas por un bajo eléctrico, el dispositivo se limitara únicamente a las primeras dos octavas de este mismo.

Ya que debe existir un receptor sonoro por cada cuerda del instrumento, el dispositivo se limitara únicamente a bajos eléctricos de cuatro cuerdas.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

En este proyecto los conceptos relevantes para la investigación serán presentados partiendo de algunos conceptos básicos de sonido, consecutivamente se presentan los conceptos de música y física, síntesis y señales para entender la conversión análogo digital, y finalmente los conceptos básicos de MIDI,

2.1.1 CONCEPTOS BASICOS DE SONIDO

- Definición de sonido ¹

El sonido se puede definir de formas muy diversas. De todas ellas, la más habitual y adecuada para la investigación es la siguiente: Vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva. De dicha definición se desprende que, a diferencia de la luz, el sonido no se propaga a través del vacío y, además, se asocia con el concepto de estímulo físico.

- Definición De Frecuencia ²

La frecuencia se define como el número de oscilaciones por unidad de tiempo (generalmente, por segundo). Entendiendo por oscilación el ciclo completo de una onda. Si se producen muchas oscilaciones en un segundo estaremos hablando de altas frecuencias, si, por el contrario, son pocas, hablamos de bajas frecuencias.

¹ CARRIÓN ISBERT, Antoni. Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos. Primera Edición, Editions UPC, 1998. p.27.

² www.diccionario-audio.buscamix.com/content/view/135/74/

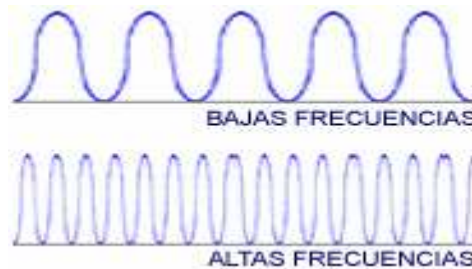


Fig. 1: Relación De Entre Altas Y Bajas Frecuencias

La frecuencia se representa con la letra (f) y se expresa en hercios.

- 1 Hz equivale a 1 ciclo/s
- 1 Kilohercio (kHz) = 1.000 Hz.
- 1 Megahercio (MHz) = Un millón de hercios.
- 1 Gigahercio (GHz) = Mil millones de hercios.

La frecuencia esta relacionada con la longitud de onda. De hecho, la velocidad de propagación se define como el producto de la longitud de onda por la frecuencia. Lo que significa que a longitudes de onda más pequeñas mayor frecuencia y viceversa.

El oído humano es capaz de percibir frecuencias entre 20 y 20.000 hercios (ciclos por segundo). Esta respuesta en frecuencia del oído humano es lo que conocemos como audiofrecuencias, pero el espectro sonoro es mucho más amplio.

- Definición De Amplitud ³

La amplitud de una onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda senoide.

³ www.scribd.com/word/full/245590?access_key=kzuooh1cpu7ue

- El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda sinusoidal recibe el nombre de "pico o cresta".
- El valor máximo negativo, "vientre o valle".
- El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, o viceversa, se conoce como "nodo", "cero" o "punto de equilibrio".



Fig. 2: Amplitud de una onda sinusoidal.

En sonido, normalmente, la amplitud viene definida en decibelios SPL (dB_{SPL}):

- Los decibelios representan la relación entre dos señales y se basa en un logaritmo de base 10 del cociente entre dos números.
- las siglas SLP hacen referencia a la presión sonora (Sound Pressure Level).

Las ondas van debilitándose en su amplitud conforme van alejándose de su punto de origen. Aunque la amplitud de las ondas decrece, su longitud de onda y su frecuencia permanece invariable.

- Longitud de onda (λ)⁴

Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo. Por ejemplo, si en un instante dado se seleccionan dos puntos consecutivos del espacio donde los valores de presión son máximos, la longitud de onda es precisamente la distancia entre ambos puntos (figura).

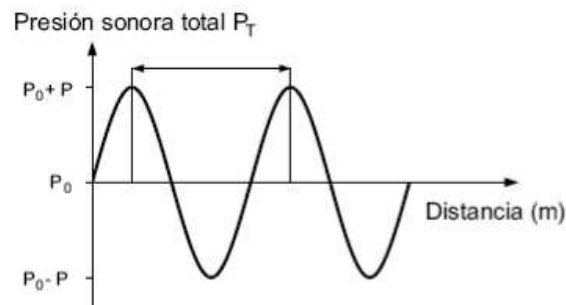


Figura 3: Longitud de onda (λ) del sonido

La relación entre las tres magnitudes: frecuencia (f), velocidad de propagación (c) y longitud de onda (λ), viene dada por la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{f}{c}$$

Ecuación 1: Longitud de onda

Según se observa, para cada frecuencia, la longitud de onda depende del medio de propagación, ya que es proporcional a la velocidad, y ésta varía para cada

⁴ CARRIÓN ISBERT, Antoni. Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos. Primera Edición, Editions UPC, 1998. p.33.

medio. Por otro lado, se puede ver que la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, es decir, cuanto mayor es f menor es λ , y viceversa.

- Definición De Octava ⁵

La "octava", es un intervalo musical entre dos tonos, en los que la relación de frecuencia es de 2 a 1; el oído humano percibe una equivalencia entre los dos tonos. Con relación a la frecuencia, el intervalo entre dos tonos es mucho mayor a valores agudos que a valores graves. Por ejemplo, una octava por encima de 50 ciclos es 100 ciclos, mientras que una octava de 5000 ciclos es 10000 ciclos.

- Definición De Armónico ⁶

En una onda periódica, cualquiera de sus componentes sinusoidales, cuya frecuencia sea un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. En música hablamos de un sonido agudo, que se produce naturalmente por la resonancia de otro fundamental, como en los instrumentos de cuerda cuando se apoya con mucha suavidad el dedo sobre los nodos de la cuerda. Instrumento provisto de una serie de orificios con lengüeta, que se toca soplando o aspirando por estos orificios.

Fundamental	2do	3er	4to	5to	6to	7mo	8vo
100 Hz.	200	300	400	500	600	700	800

⁵ www.diccionario-audio.buscamix.com/content/view/344/83/

⁶ www.diccionario-audio.buscamix.com/content/view/309/69/

- Definición de Espectro de frecuencia ⁷

El espectro de frecuencia de un fenómeno ondulatorio (sonoro, luminoso o electromagnético), superposición de ondas de varias frecuencias, es una medida de la distribución de amplitudes de cada frecuencia. También se llama espectro de frecuencia al gráfico de intensidad frente a frecuencia de una onda particular.

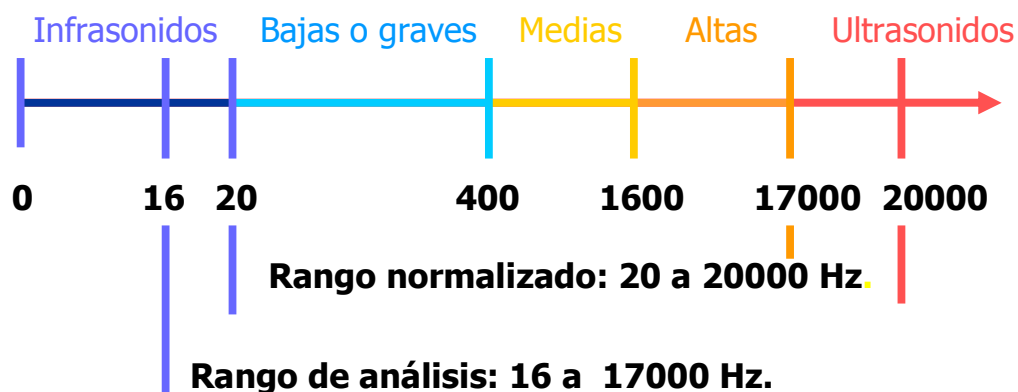


Fig. 4: Espectro de Frecuencias.

- Banda de frecuencias ⁸

Las notas inferior y superior de un piano de 88 teclas tienen unas frecuencias fundamentales de 27,5Hz y 4.400Hz, respectivamente. La primera corresponde a un sonido muy grave, mientras que la segunda va asociada a uno muy agudo. Por consiguiente, un sonido grave está caracterizado por una frecuencia baja, en tanto que uno agudo lo está por una frecuencia alta. El conjunto de frecuencias situado entre ambos extremos se denomina banda o margen de frecuencias del piano. Dicha definición es válida para cualquier fuente sonora. En la figura 5 se muestran

⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_de_frecuencias

⁸ CARRIÓN ISBERT, Antoni. Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos. Primera Edición, Editions UPC, 1998.p.32.

las bandas de frecuencias asociadas a diversos instrumentos musicales y a la voz humana.

Las áreas subrayadas indican la banda de frecuencia de interés de este proyecto.

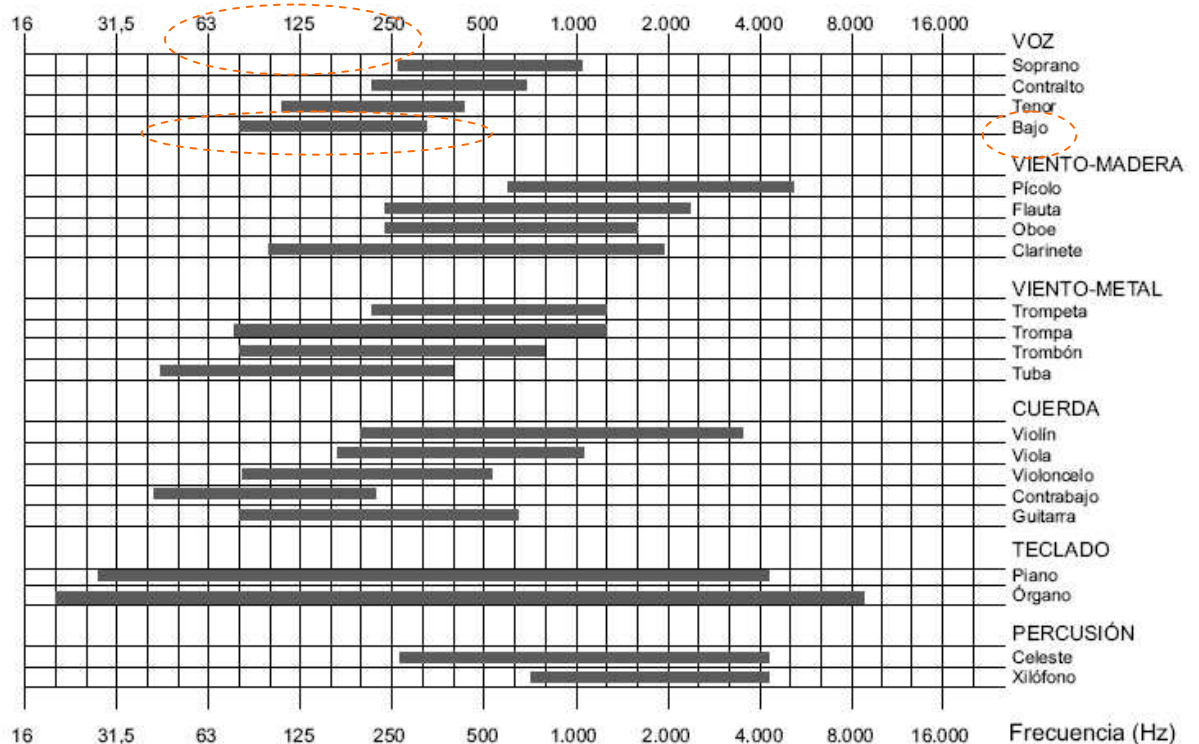


Fig. 5: Bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz

- Clasificación de los sonidos

Los sonidos se dividen en deterministas y aleatorios. Los primeros se pueden representar siempre mediante una expresión matemática que indica la forma en que varía la correspondiente presión sonora en función del tiempo. Los segundos, en cambio, van asociados a vibraciones irregulares que nunca se repiten exactamente y que, por tanto, solamente se pueden describir mediante parámetros estadísticos.

⁹A continuación se definen los sonidos más representativos pertenecientes a cada grupo.

- Sonidos deterministas

Sonido periódico simple (tono puro): Es el tipo más simple de sonido existente en la naturaleza. Se compone de una única frecuencia (f_0) constante, por lo que su espectro está constituido por una sola raya (figura 6). El sonido producido por un diapasón es de este tipo.

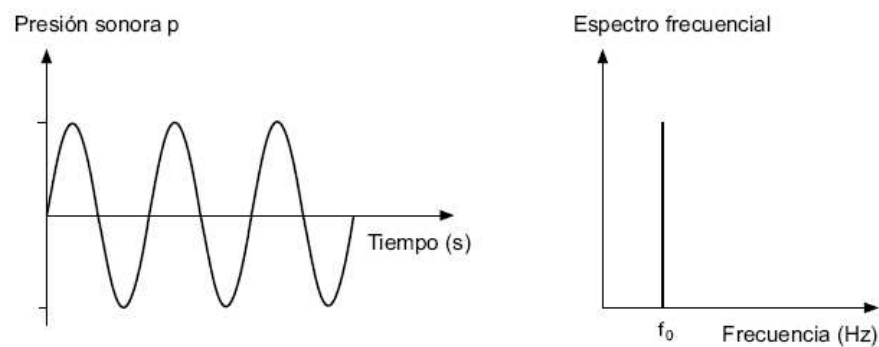


Fig. 6 Tono puro y su espectro frecuencial.

Sonido periódico complejo: caracterizado por una frecuencia origen, denominada fundamental o primer armónico, y un conjunto finito (y a veces infinito) de frecuencias múltiplos de ésta, denominados armónicos. Por regla general, la frecuencia fundamental es la que lleva asociada más potencia sonora. La mayoría de instrumentos musicales producen este tipo de sonidos.

En la figura 7 se representa un sonido de este tipo formado por una frecuencia fundamental o primer armónico (f_0) y su tercer armónico ($3f_0$).

⁹ CARRIÓN ISBERT, Antoni. Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos. Primera Edición, Editions UPC, 1998. p.29.

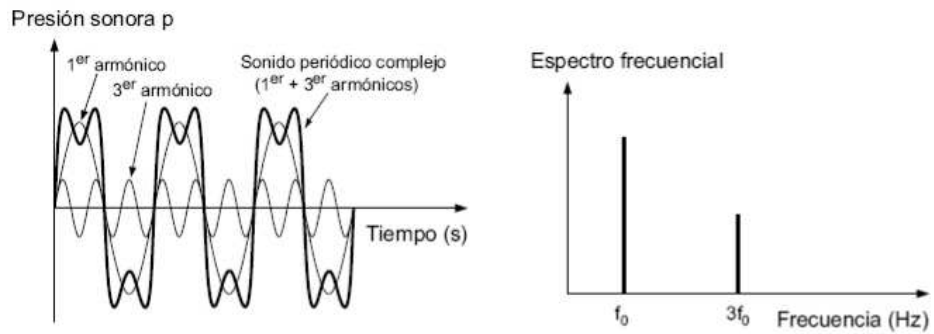


Fig. 7: Sonido periódico complejo y su espectro frecuencial

Sonido transitorio: resultante de la brusca liberación de energía bajo la forma, por ejemplo, de explosiones o impactos. Es de aparición repentina y tiene una duración breve. A diferencia de los sonidos periódicos comentados anteriormente, contiene un gran número de componentes frecuenciales que no guardan una relación armónica entre sí, sino que forman un espectro continuo. Una palmada constituye un ejemplo de este tipo de sonidos. En la figura 8 se representa un sonido transitorio denominado pulso rectangular, así como su espectro frecuencial.

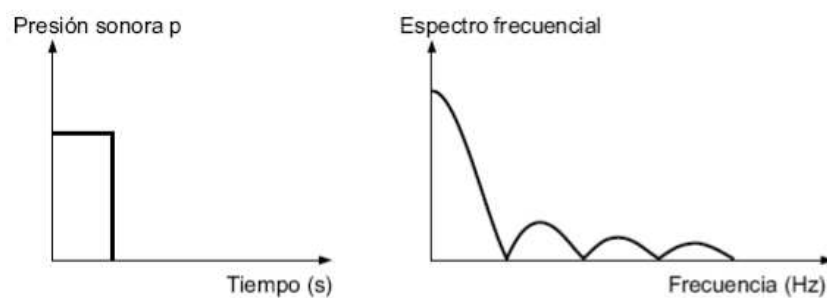


Fig. 8: Pulso rectangular y su espectro frecuencial.

2.1.2 CONCEPTOS BASICOS DE MUSICA VINCULADA A LA FISICA

- DEFINICION DE MUSICA¹⁰

Se define como la combinación de sonidos agradables al oído o el arte de combinar los sonidos de la voz humana o de instrumentos.

El origen etimológico proviene de la palabra MUSA, que en idioma griego antiguo aludía un grupo de personajes míticos femeninos, que inspiraban a los artistas y también se podría definir como el arte de combinar los sonidos y los silencios, a lo largo de un tiempo, produciendo una secuencia sonora que transmite sensaciones agradables al oído, mediante las cuales se pretende expresar o comunicar un estado del espíritu

- EL BAJO ELÉCTRICO

El bajo eléctrico está construido de manera similar que una guitarra eléctrica. Dispone de una base sólida (puente), en la que están fijados uno de los extremos de las cuerdas. Debajo de las cuerdas se encuentran unas pastillas electromagnéticas (cápsulas o micrófonos), que captan la vibración de las cuerdas, la traducen a una señal eléctrica y la envían a través de la línea (cable) al amplificador o a los altavoces. Según el modelo, posee unas perillas giratorias (potenciómetros) que sirven para ajustar el volumen general o de cada cápsula, el nivel de graves, medios y/o agudos (también llamado tono -en inglés *tone*-), y para controlar efectos que se le puedan aplicar.

¹⁰ www.definicion.org/musica



Fig. 9 bajo Eléctrico marca Fender

- DEFINICION DE FISICA¹¹

Ciencia que estudia la materia, sus propiedades, las leyes a que está sometida y los fenómenos reales que los agentes naturales causan sobre ella con su acción.

¹¹ www.es.wikibooks.org/wiki/F%C3%ADsica/Definicion_de_la_F%C3%ADsica

- NOTAS MUSICALES Y FRECUENCIAS

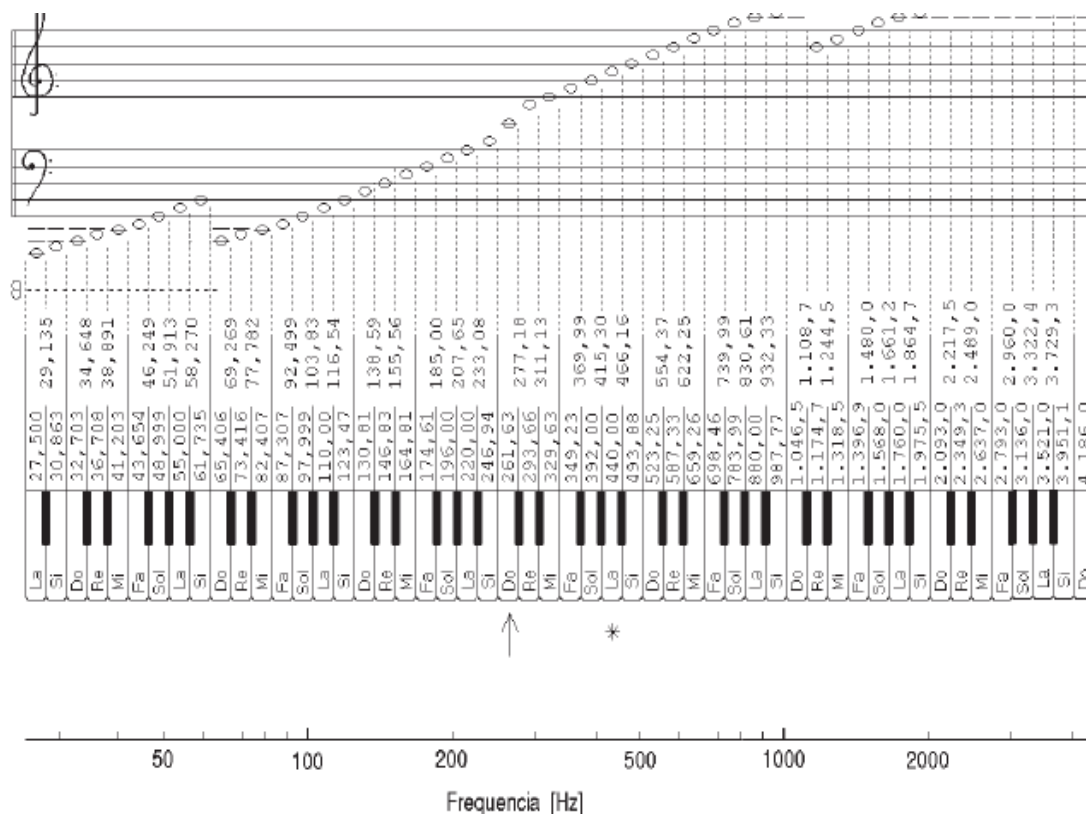


Fig. 10: cuadro de notas musicales y su respectiva frecuencia

2.1.3 CONCEPTOS BASICOS DE SISTEMAS Y SEÑALES

- SEÑALES¹²

Una **señal** es cualquier fenómeno que puede ser representado de manera cuantitativa mediante una función continua (cuyo dominio es los números reales) o discreta (cuyo dominio es los números enteros). Como ejemplos de señales se tienen: La variación de la presión de aire a la salida de un parlante. La variación de la intensidad electromagnética que llega a una antena receptora. La variación de

¹² www.es.wikibooks.org/wiki/Introducci%C3%B3n_a_Se%C3%B1ales,_Sistemas_y_Control

la temperatura máxima tomada diariamente. Los colores de una imagen digitalizada (píxeles)

SEÑALES CONTINUAS

Una señal continua es una señal "suave" que está definida para todos los puntos de un intervalo determinado del conjunto de los números reales. Por ejemplo, la función seno es un ejemplo continuo, como la función exponencial o la función constante. Una parte de la función seno en el rango de tiempos de 0 a 6 segundos también es continua. Si deseamos ejemplos de la naturaleza tenemos la corriente, el voltaje, el sonido, la luz, etc.

SEÑALES DISCRETAS

Una señal discreta es una señal discontinua que está definida para todos los puntos de un intervalo determinado del conjunto de los números enteros. Su importancia en la tecnología es que, los computadores y microchips que son utilizados en este nuevo mundo "Digital" en el que vivimos, solo manejan señales discretas. Una señal discreta en la naturaleza podría ser el pulso cardiaco, el rebotar de una pelota al caer libremente, etc.

Si para todos los valores de una variable existe un valor, estamos hablando de una señal continua.

- PARTE PAR E IMPAR DE UNA SEÑAL¹³

Par Una función par es una función en donde

$$x(t) = x(-t)$$

Ecuación 2: Ecuación de una función Par.

¹³ Ibid.

En donde:

x = espacio

t = tiempo.

Es decir, esta función presenta una simetría en torno al eje y .

Impar Una función impar es una función en donde

$$x(t) = -x(-t)$$

Ecuación 3: Ecuación de una función Impar.

Es decir, esta función presenta una simetría respecto al origen del sistema de coordenadas. (Espejo a través de la recta $y = -x$)

Periódica Una función periódica es aquella que muestra una repetición constante, y no cambia para un corrimiento de tiempo T cumpliéndose que

$$x(t + T) = x(t)$$

Ecuación 3: Ecuación de una función Periódica.

En donde:

T = es periodo

Por ejemplo, una onda cuadrada o sinusoidal son ondas periódicas, en tanto que

la función $x(t) = t$ no es periódica.

- TRANSFORMACIONES DE SEÑALES CONTINUAS SIMPLES

Escala de la amplitud

Amplificación, Atenuación, Limitación.

Transformaciones Temporales

Compresión, Expansión y Escalamiento Temporales

Inversión de Signo de la Señal

Una inversión de signo voltea la señal a lo largo del eje de amplitud. Así, "los últimos serán los primeros y los primeros serán los últimos." Las tres funciones básicas se modifican como sigue:

- La función impulso $\delta(t)$ queda igual
- La función escalón $u(t)$ se transforma en $u(-t)$
- La función rampa $r(t)$ se transforma en $r(-t)$

- SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO (SLIT)

Se dice que un sistema lineal es invariante en el tiempo si un desplazamiento en el tiempo de la entrada resulta en un desplazamiento idéntico de la salida sin que cambie la forma de onda o perfil de la señal. Esto se puede enunciar en la forma siguiente:

Un sistema lineal es invariante en el tiempo si para cualquier desplazamiento T se verifica que

$$\delta(t + T) = h(t + T)$$

Ecuación 4: Ecuación de un sistema lineal.

En donde:

δ = función independiente.

t = tiempo.

T = periodo.

h = función independiente

Y como consecuencia, para cualquier señal $x(t)$ y desplazamiento τ ,

$$x(t + T) = y(t + T) .$$

Ecuación 5: señal $x(t)$ y desplazamiento T

Por consiguiente, en un Sistema Lineal Invariante en el Tiempo (SLIT), la respuesta impulsional dependerá únicamente de la diferencia $(t - \tau)$, es decir,

$$h(t, T) = h(t - T)$$

Ecuación 6: Ecuación de respuesta al impulso para un sistema lineal

La respuesta de un SLIT es entonces el producto de Convolución de la excitación con la respuesta impulsional del sistema. DISCRETOS

- TRANSFORMADA DE FOURIER¹⁴

En matemática, la **transformada de Fourier** es una aplicación que hace corresponder a una función f con valores reales o complejos y definidos en la recta, otra función g definida de la manera siguiente:

$$g(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-i\xi x} dx$$

Ecuación 7: Ecuación para la transformada de Fourier

Donde f es L^1 , o sea f tiene que ser una función integrable en el sentido de la integral de Lebesgue. El factor, que acompaña la integral en definición facilita el enunciado de algunos de los teoremas referentes a la transformada de Fourier. Aunque esta forma de normalizar la transformada de Fourier es la más comúnmente adoptada, no es universal.

La transformada de Fourier así definida goza de una serie de propiedades de continuidad que garantizan que puede extenderse a espacios de funciones mayores e incluso a espacios de funciones generalizadas.

La transformada de Fourier, tiene una multitud de aplicaciones en muchas áreas de la ciencia e ingeniería: la física, la teoría de los números, la combinatoria, el procesamiento de señales, la teoría de la probabilidad, la estadística, la óptica, la propagación de ondas y otras áreas. En procesamiento de señales la transformada de Fourier suele considerarse como la decomposición de una señal en componentes de frecuencias diferentes, es decir, g corresponde al espectro de frecuencias de la señal f .

¹⁴ www.es.wikipedia.org/wiki/Transformada_de_Fourier

- TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER¹⁵

Sean $x_0, \dots, x_{n-1}$ números complejos. La transformada discreta de Fourier (DFT, por sus siglas en inglés) se define como

$$f_j = \sum_{k=0}^{n-1} x_k e^{-\frac{2\pi i}{n} jk} \quad j = 0, \dots, n-1.$$

Ecuación 8: Ecuación para la transformada discreta de fourier

La evaluación directa de esa fórmula requiere $O(n^2)$ operaciones aritméticas. Mediante un algoritmo FFT se puede obtener el mismo resultado con sólo $O(n \log n)$ operaciones. En general, dichos algoritmos dependen de la factorización de n pero, al contrario de lo que frecuentemente se cree, existen FFTs para cualquier n , incluso con n primo.

La idea que permite esta optimización es la descomposición de la transformada a tratar en otras más simples y éstas a su vez hasta llegar a transformadas de 2 elementos donde k puede tomar los valores 0 y 1. Una vez resueltas las transformadas más simples hay que agruparlas en otras de nivel superior que deben resolverse de nuevo y así sucesivamente hasta llegar al nivel más alto. Al final de este proceso, los resultados obtenidos deben reordenarse.

Dado que la transformada discreta de Fourier inversa es análoga a la transformada discreta de Fourier, con distinto signo en el exponente y un factor $1/n$, cualquier algoritmo FFT puede ser fácilmente adaptado para el cálculo de la transformada inversa.

¹⁵ www.es.wikipedia.org/wiki/Transformada_r%C3%A1pida_de_Fourier

- DSP¹⁶

DSP es el acrónimo de *Digital Signal Processor*, que significa Procesador Digital de Señal.

Un DSP es un sistema basado en un procesador o microprocesador que posee un juego de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad. Debido a esto es especialmente útil para el procesamiento y representación de señales analógicas en tiempo real: en un sistema que trabaje de esta forma (tiempo real) se reciben muestras (samples en inglés), normalmente provenientes de un conversor analógico/digital (ADC).

Se ha dicho que puede trabajar con señales analógicas, pero es un sistema digital, por lo tanto necesitará un conversor analógico/digital a su entrada y digital/analógico en la salida. Como todo sistema basado en procesador programable necesita una memoria donde almacenar los datos con los que trabajará y el programa que ejecuta.

Si se tiene en cuenta que un DSP puede trabajar con varios datos en paralelo y un diseño e instrucciones específicas para el procesamiento digital, se puede dar una idea de su enorme potencia para este tipo de aplicaciones. Estas características constituyen la principal diferencia de un DSP y otros tipos de procesadores.

2.1.4 CONCEPTOS BASICOS DE MIDI

- Definición de MIDI¹⁷

Estas son las siglas de Musical Instrument Digital Interface (Interfaz Digital de Instrumentos Musicales). Se trata de un protocolo industrial estándar que permite

¹⁶ www.es.wikipedia.org/wiki/Procesador_digital_de_se%C3%B1al

¹⁷ www.es.wikipedia.org/wiki/MIDI

a las computadoras, sintetizadores, secuenciadores, controladores y otros dispositivos musicales electrónicos comunicarse y compartir información para la generación de sonidos.

Esta información define diversos tipos de datos como números que pueden corresponder a notas particulares, números de patches de sintetizadores o valores de controladores. Gracias a esta simplicidad, los datos pueden ser interpretados de diversas maneras y utilizados con fines diferentes a la música. El protocolo incluye especificaciones complementarias de hardware y software.

Mensajes MIDI¹⁸

Los mensajes pueden dividirse en dos categorías básicas: *Mensajes de Canal* y *Mensajes de Sistema*. Los mensajes de canal afectan sólo a el canal especificado, como hemos visto antes en la explicación de los canales. Los mensajes de sistema afectan al módulo o dispositivo de forma global. Le indican de qué forma ha de responder o actuar, cuando recibe ciertos parámetros y si debe hacer caso, o no, de todos, algunos o ninguno de los mandatos que llegan a su puerto de entrada MIDI.

CANALES MIDI¹⁹

Uno de los conceptos peores de entender, para el principiante y más difícil de explicar, es el principio y funcionamiento de los Canales dentro del protocolo MIDI. A continuación damos las bases principales a tener en cuenta.

¹⁸ <http://www.geocities.com/SiliconValley/Pines/8307/midi.htm#Mensajes>

¹⁹ <http://www.geocities.com/SiliconValley/Pines/8307/midi.htm#Canales%20MIDI>

- MIDI especifica dieciséis canales para la transmisión de datos entre dispositivos que son aplicables tanto, para MIDI IN, como MIDI OUT y MIDI THRU.
- Los datos se pueden estar transmitiendo, en cualquier momento dado, por todos los canales a la vez, o por uno o varios canales individuales.
- Los datos de un canal individual no tienen efecto alguno sobre los que se reciben por otro canal diferente.

Los principios pueden ser comparables con el sistema de transmisión de la televisión y nos puede servir de ejemplo para tener una mejor noción: Supongamos el caso en que la estación de transmisión, transmitiera un programa distinto por medio de dieciséis canales diferentes; nuestro receptor de televisión es capaz de sintonizar cualquiera de ellos pero, si sintonizamos el canal 1, no estamos afectados por ninguno de los otros, aunque estos estén disponibles para sintonizar. Al mismo tiempo podemos tener varios receptores de tv. que estén sintonizados a diferentes canales por lo que, cada uno reproduce un programa diferente. Por ejemplo, podemos sintonizar nuestro VCR para que grabe el canal 3 mientras que nosotros vemos el canal 1. El VCR no afecta la señal del tv y viceversa.

Si por otra parte tenemos un receptor de tv que sea capaz de sintonizar varios programas a la vez y representarlos en una especie de "multicuadros", podemos sintonizar varios canales y cada uno de ellos nos reproduciría un programa diferente en cada cuadro dentro de la misma pantalla, sin afectarse entre sí.

2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

La propiedad Industrial abarca los derechos provistos para proteger invenciones (creaciones novedosas que tienen una finalidad industrial definida y útil), los signos distintivos de productos o servicios y además para reprimir la competencia desleal (en caso de violación de los secretos industriales)

- **CLASIFICACIÓN DE LOS DERECHOS DE PROPIEDAD INDUSTRIAL**

La propiedad Industrial se clasifica en dos grandes grupos:

1. El que protege las **CREACIONES INDUSTRIALES**: patentes diseños industriales y secretos industriales.
2. El que protege los **SIGNOS DISTINTIVOS**: marcas, lemas comerciales, denominaciones de origen.

- **PROTECCIÓN DE LAS CREACIONES INDUSTRIALES**

Las creaciones industriales pueden protegerse a través de 3 mecanismos: patentes, diseños y secretos.

1. patentes de Invención y de Modelo de Utilidad:

- a. Patente de Invención: es un título de propiedad (certificado), otorgado por el gobierno de un país. En Colombia lo expide la Superintendencia de Industria y Comercio (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo). La patente concede un monopolio temporal, con cobertura que se limita al país.

- PATENTE DE INVENCION

Titular: Persona natural o jurídica dueñas de la invención

Qué se le permite hacer al titular: excluir a otros de hacer, usar o vender el objeto patentado sin su aprobación, por un tiempo limitado de acuerdo a las normas del país

Por cuánto tiempo: En Colombia por 20 años

A cambio de qué: que el gobierno haga pública la información relacionada con la invención patentada.

- REQUISITOS PARA OBTENER UNA PATENTE DE INVENCION

- a. Que sea nueva, es decir, que no forme parte de la información que sobre el tema ya ha sido publicado (Estado del Arte o de la Técnica)
- b. Que tenga nivel inventivo, que no resulte obvio para un especialista en la materia. No debe ser una conclusión que se desprende fácilmente de lo que ya exista. Ej: la importancia del agua en la navegación.
- c. Que sea útil, es decir, que tenga una clara aplicación industrial

- PATENTE MODELO DE UTILIDAD

Al igual que la patente de invención, la patente de modelo de utilidad es un título de propiedad que protege aquellas pequeñas invenciones que no tienen el mismo nivel de la patente de invención pero que sí agregan valor por cuanto mejoran la funcionalidad o el uso de invenciones ya existentes. Los requisitos son los mismos de los de la patente de invención, excepto el de nivel inventivo (o sea, debe ser nuevo y útil)

La patente de modelo de utilidad concede monopolio por la mitad del tiempo que otorga la patente de invención, es decir, por 10 años.

2.2.1 NORMATIVIDAD EN COLOMBIA SOBRE LA PROPIEDAD INTELECTUAL

- Ley No. 23 del 28 de Enero de 1982 sobre Derechos de Autor. Dirección Nacional del Derecho de Autor. Ministerio del Interior.
- Decisión 344 del 21 de Octubre de 1993, por la cual se adopta el Régimen Común sobre propiedad Industrial en los países miembros del Acuerdo de Cartagena. Comisión del Acuerdo de Cartagena.
- Decisión 345 del 29 de Octubre de 1993, por la cual se adopta el Régimen Común de Protección a los Derechos de Autor de los Obtentores de Variedades Vegetales. Comisión del Acuerdo de Cartagena.
- Decisión 351 del 17 de Diciembre de 1993, por la cual se adopta el Régimen Común de Derechos de Autor y Derechos Conexos. Comisión del Acuerdo de Cartagena.
- Decreto No. 117 del 14 de Enero de 1994, por el cual se reglamenta la Decisión 344 de la Comisión del Acuerdo de Cartagena. Ministerio de Desarrollo Económico
- Decreto 533 del 8 de Marzo de 1994, por el cual se reglamenta el Régimen Común de Protección de Derechos de los Obtentores de Variedades Vegetales. Ministerio de Agricultura.

- Decisión 486 Régimen Común sobre propiedad Industrial. Comisión de la Comunidad Andina
- Capítulo II De los Titulares de la Patente Artículo 22:

El derecho a la patente pertenece al inventor. Este derecho podrá ser transferido por acto entre vivos o por vía sucesoria.

Los titulares de las patentes podrán ser personas naturales o jurídicas.

Si varias personas hicieran conjuntamente una invención, el derecho a la patente corresponde en común a todas ellas.

- Decisión 486 Comunidad Andina

Capítulo II De los Titulares de la Patente. Artículo 23

Sin perjuicio de lo establecido en la legislación nacional de cada País Miembro, en las invenciones ocurridas bajo relación laboral, el empleador, cualquiera que sea su forma y naturaleza, podrá ceder parte de los beneficios económicos de las invenciones en beneficio de los empleados inventores, para estimular la actividad de investigación.

- Decisión 486 Continuación Artículo 23

Las entidades que reciban financiamiento estatal para sus investigaciones deberán reinvertir parte de las regalías que reciben por la comercialización de tales invenciones, con el propósito de generar fondos continuos de investigación y estimular a los investigadores, haciéndoles partícipes de los rendimientos de las innovaciones, de acuerdo con la legislación de cada País Miembro.

2.3 MARCO TEORICO

Las teorías que se implementaran en el desarrollo del dispositivo conversor de nota musical a nota MIDI para bajo eléctrico son las relacionadas con la teoría y principios de funcionamiento de los instrumentos de cuerda, las teorías de conversión analógica digital, la transformada rápida de fourier (FFT), la teoría de funcionamiento de los DSP, la autocorrelacion de señales y finalmente el MIDI y sus aplicaciones.

2.3.1 TEORIA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS DE CUERDA

El mecanismo básico que produce el sonido en todos los instrumentos de cuerda es el mismo, la única diferencia es que para obtener la vibración, en algunos casos la cuerda se frota, mientras que en otros se pulsa, o por último se golpea. El principio básico de los instrumentos de cuerdas esta dado por la propagación de las ondas transversales a través de una cuerda.

En primera instancia se debe abandonar la idea de que la cuerda es inextensible.

Se tiene una cuerda que en equilibrio tiene una densidad lineal de masa μ y está bajo la acción de una tensión cuya magnitud es F . En la siguiente figura A se ilustra un elemento de cuerda dx . Si se somete la cuerda a pequeñas elongaciones transversales (figura B), la tensión es prácticamente la misma tensión de equilibrio, de magnitud F . La sección izquierda del elemento está desplazada en y , la sección derecha en $y + dy$. Aquí dy es la deformación transversal del elemento de cuerda. Sin embargo debe mantenerse presente que el elemento dx se deformó en

$$d\epsilon = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} - dx.$$

Ecuación 9: deformación del elemento dx

Fig A:

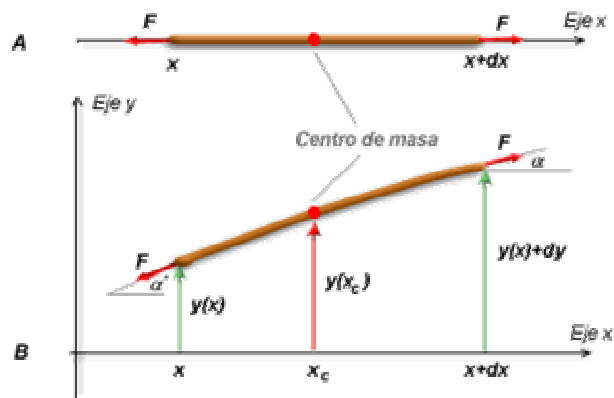


Fig B:

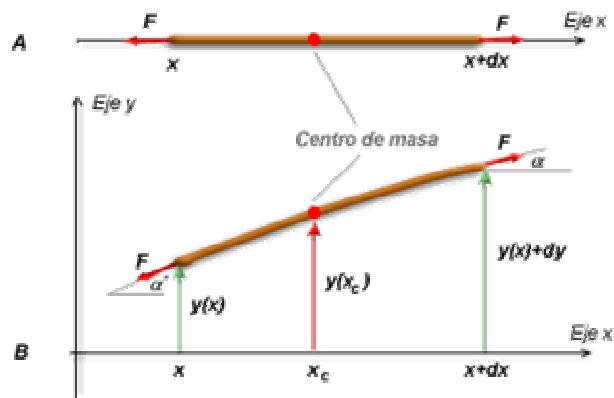


Fig 11: Cuerda, Centros De Masa Y Desplazamientos

Aplicando la segunda ley de Newton al elemento de cuerda de longitud dx, y

sabiendo que la aceleración de vibración de su centro de masa es $a_{cm} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Big|_{x_c}$, se obtiene,

$$F_y(x+dx) - F_y(x) = dm \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Big|_{x_c}$$

Ecuación 10 deformación del elemento dx aplicando la segunda ley de Newton

Las componentes horizontales de la tensión, $F \cos \alpha \approx F \cos \alpha'$ se cancelan y se ha despreciado la fuerza de gravedad, ya que es muy pequeña en comparación con la tensión. Aplicando la ley de Hooke,

$$F \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_{x+dx} - F \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_x = \mu dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \Big|_x$$

Ecuación 11 deformación del elemento dx aplicando la ley de Hooke

y por tanto se obtiene la ecuación de ondas,

$$\frac{F}{\mu} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Ecuación 12: ecuación de ondas

Donde las derivadas quedan evaluadas en x (el centro de masa se acerca al extremo izquierdo del elemento tanto como queramos). Como demostraremos a continuación. La solución de esta ecuación de ondas representa una onda que se propaga a través de la cuerda con una velocidad V :

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Ecuación 13: velocidad de una onda a través de una cuerda

En donde:

Fuerza se mide en Newton

μ Se mide en Kg.m^{-1}

Con esta expresión se calcula la velocidad de propagación de las ondas transversales en una cuerda para pequeñas elongaciones. Esta deducción coincide con lo obtenido en la ecuación diferencial de onda generalizada ya que para la cuerda

- Condiciones Iniciales Y De Frontera

En la práctica, las funciones $f(c \cdot t - x)$ y $g(c \cdot t + x)$ no son completamente arbitrarias, están limitadas por varios tipos de condiciones iniciales y frontera. Para las vibraciones libres de las cuerdas, la forma matemática para las condiciones iniciales es que, por ejemplo, los valores para $t = 0$ están determinados por el tipo y punto de aplicación de la fuerza de excitación que se aplica a la cuerda, estas funciones están limitadas por las condiciones frontera en los extremos de la cuerda. Las cuerdas reales tienen una longitud finita y están fijas de alguna forma en sus extremos. Si, por ejemplo, los soportes de la cuerda son rígidos, lo que es cierto para casi todas las cuerdas, la suma de las funciones $f + g$ tiene un valor nulo en cualquier instante para los puntos extremos de la misma. El efecto más importante de este tipo de condición frontera es la necesidad de que el movimiento de la vibración libre de la cuerda sea periódico.

- Ondas Estacionarias En Una Cuerda Con Extremos Fijos

A continuación se ilustra una cuerda atada en sus extremos como se encuentra la de nuestro instrumento el bajo eléctrico. En este caso se dice que las fronteras de la cuerda son dos nodos. Cuando se perturba la cuerda, por ejemplo en su extremo izquierdo, se genera una onda que se denomina la onda incidente, Y_1 , la cual al reflejarse en el extremo derecho origina una segunda onda que se denomina reflejada, Y_r , que tiene la misma frecuencia y longitud de onda,

$$y_i = A_i \text{sen}(kx - \omega t) , \quad y_r = A_r \text{sen}(kx + \omega t + \varphi)$$

Ecuación 14: onda incidente

ecuación 15: onda reflejada

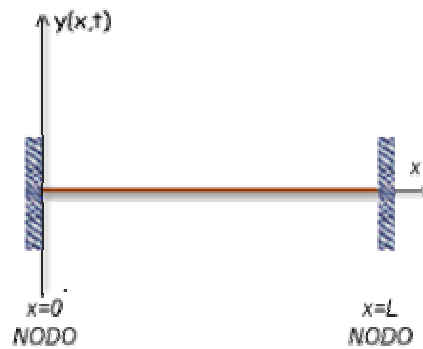


Fig 14: Emulación De Cuerda Y Sus Nodos

Por lo tanto, la cuerda oscilará con una superposición de estas dos ondas:

$$y = y_i + y_r = A_i \text{sen}(kx - \omega t) + (kx + \omega t + \varphi)$$

Ecuación 16: oscilación de la cuerda.

Las condiciones de frontera son:

$$y(0,t) = y(L,t) = 0$$

Aplicando la primera condición, $y(0,t) = 0$,

$$\begin{cases} -A_i + A_r \cos \varphi = 0 \\ A_i \text{sen} \varphi = 0 \end{cases}$$

es decir, $\varphi = 0, \pi$ (valores más representativos). Si se toma el valor de π , se obtiene, $A_r = -A_i$, lo cual no es posible puesto que ambas amplitudes deben ser positivas (amplitudes negativas no tienen interpretación física). Por lo tanto $\varphi = 0$ y $A_r = A_i$, es decir,

$$y = y_i + y_r = A_i \sin(kx - \omega t) + (kx + \omega t + \varphi)$$

Ecuación 17: oscilación de la cuerda

es importante anotar que $\varphi = 0$ corresponde a una diferencia de fase entre la onda incidente y_i y la reflejada y_r en $x=0$ de π ,

$$(y_r)_{x=0} = A_i \sin \omega t$$

$$(y_i)_{x=0} = -A_i \sin \omega t$$

$$(y_i)_{x=0} = -(y_r)_{x=0}$$

En definitiva, la cuerda oscila con una superposición de dos ondas viajeras propagándose en sentidos opuestos pero con todos sus parámetros iguales (amplitud, número de onda, longitud de onda, frecuencia, período).

$$y = 2 A \sin k x \cos \omega t$$

A continuación se ilustra este hecho, representando en color negro la onda total:

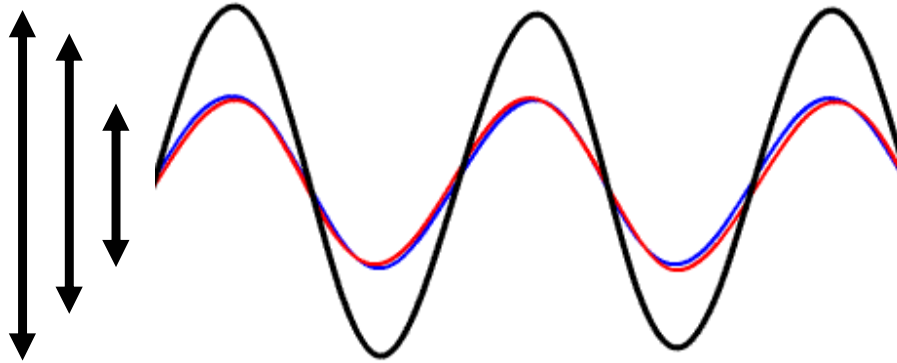


Fig 13: representación de onda completa

Como ya hemos visto, a este tipo de ondas se les denomina *ondas estacionarias*.

- Nodos y Vientres

En una onda estacionaria hay elementos del medio cuyos centros de masa se mantienen quietos en todo instante (nodos) y hay elementos del mismo cuyo centro de masa vibra en una posición denominada vientre en donde la pendiente es cero en todo instante de tiempo. Entre nodo y nodo o entre vientre y vientre

consecutivos hay una separación de $\frac{\lambda}{2}$ por lo que la separación entre vientres y nodos consecutivos será $\frac{\lambda}{4}$.

Para mostrar lo dicho en el párrafo anterior, se debe tener en cuenta que en los nodos se deben cumplir que la velocidad de vibración en todo instante es nula

$\left(\frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad \forall t \right)$ y en los vientres la pendiente de $y = f(x, t)$ debe ser nula en todo instante $\left(\frac{\partial y}{\partial x} = 0 \quad \forall t \right)$.

Posición de los nodos:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial t} &= 0 \quad \forall t \\ -2aA \operatorname{sen} kx \operatorname{sen} \omega t &= 0 \quad , \quad \forall t \\ \operatorname{sen} kx &= 0 \\ kx &= n\pi \quad \text{con } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\end{aligned}$$

Ecuación 18 posición de los nodos

sin embargo, para el caso de la cuerda que se está considerando, $n = 0, 1, 2, 3, \dots$, ya que no tendrían sentido los valores negativos.

Adicionalmente, la separación entre dos nodos consecutivos será,

$$x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{2} \quad , \quad \text{es decir, } \frac{\lambda}{2} .$$

Posición de los vientres:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial x} &= 0 \quad \forall t \\ 2kA \operatorname{sen} kx \cos \omega t &= 0 \quad , \quad \forall t \\ \cos kx &= 0 \\ kx &= (2n-1)\frac{\pi}{2} \quad \text{con } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\end{aligned}$$

Ecuación 19: posición de vientres

Para el caso de la cuerda que se está considerando, $n = 1, 2, 3, \dots$

Análogamente al caso de los nodos, se puede mostrar que la separación entre vientres consecutivos es igual a $\frac{\lambda}{2}$.

Aplicando la segunda condición de frontera a la ecuación, $y = 2A \sin kx \cos \omega t$,

$$\begin{aligned} y(L, t) &= 0, & \forall t \\ 2A \sin kL \cos \omega t &= 0, & \forall t \\ kL &= n\pi, & n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{aligned}$$

Aquí se deben desechar los valores negativos de n ya que corresponderían a números de onda k negativos y por ende como $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, a longitudes de onda negativas, lo que no tendría significado físico. También se debe desechar $n = 0$, puesto que correspondería a una longitud de onda infinita, lo que significaría que el medio no vibra (caso trivial en el que la cuerda no vibra). En definitiva se obtiene,

$$kL = n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad k_n = \frac{n\pi}{L}$$

Como $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ y $\lambda f = V$, se pueden escribir también relaciones equivalentes para las longitudes de onda y para las frecuencias,

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad f_n = \frac{nV}{2L}$$

De estas dos relaciones se concluye que:

- $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ significa que la cuerda sujeta por sus extremos vibra formando una onda estacionaria, y en la longitud de la cuerda caben exactamente un número entero de semi-longitudes de onda: $L = n \left(\frac{\lambda_n}{2} \right)$
- La cuerda tiene una colección de frecuencias a las cuales podrá vibrar como onda estacionaria. A estas frecuencias se les denomina frecuencias propias o frecuencias naturales f_n . A la frecuencia más baja, $f_1 = \frac{V}{2L}$ se le denomina frecuencia del primer armónico o frecuencia fundamental. A la segunda frecuencia $f_2 = 2f_1$, se le denomina frecuencia del segundo armónico, y así sucesivamente.
- A cada armónico n (o también llamado onda estacionaria n) de la cuerda con extremos fijos, le corresponde una onda dada por la ecuación: $y_n = 2 A_n \sin k_n x \cos \omega_n t$. Y a la expresión $a_n(x) = 2 A_n \sin k_n x$ se le denomina perfil del armónico.
- Como $y_n = a_n(x) \cos 2\pi f_n t$, se concluye que cuando la cuerda con extremos fijos vibra como una onda estacionaria (es decir, en un armónico), todas sus elementos (exceptuando los nodos) vibran con movimiento armónico simple pero con una amplitud que dependerá de la posición del elemento sobre la cuerda, $a_n(x)$, pero todos tienen igual frecuencia f_n .
- Cada armónico tiene una longitud de onda $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ y una frecuencia f_n diferentes a los demás armónicos. Sin embargo, el producto de estas dos magnitudes debe ser constante para todos los armónicos,

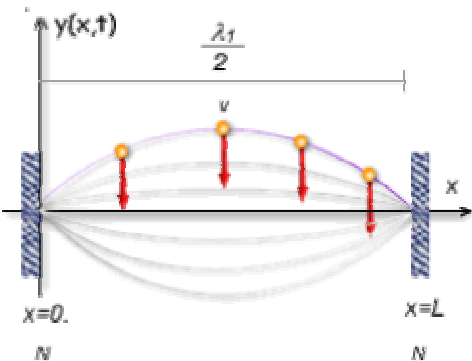
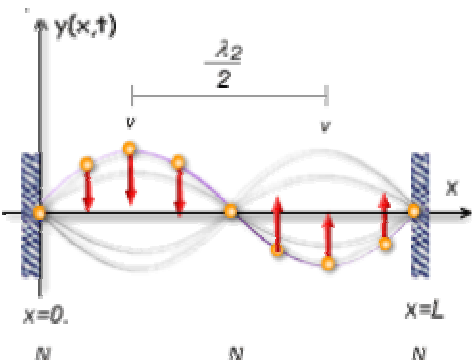
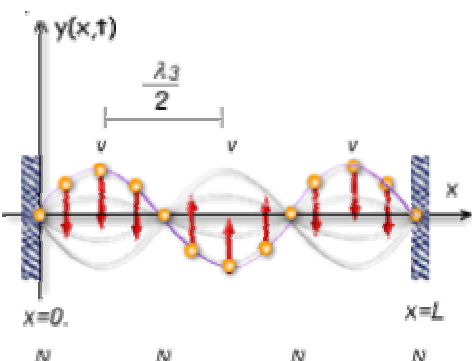
$$\lambda_n \cdot f_n = V$$

Ecuación 20 ecuación de velocidad para los armónicos

A continuación se analizarán los primeros armónicos de esta cuerda sujeta por sus extremos.

En el cuadro, N significa nodo (elementos de la cuerda que no vibran) y V vientre (elementos de la cuerda que vibran con la máxima amplitud ^{2.4*}). La relación de la columna 3 se obtiene observando las gráficas de la columna 2. La relación de frecuencia de la columna 4 se puede obtener a partir de la columna 3 sabiendo que.

$$\lambda_n \cdot f_n = V$$

N? ARMÓNICO	PERFIL DEL ARMÓNICO	LONGITUDES DE ONDA CONTENIDAS EN L	FRECUENCIA
1		$L = \frac{\lambda_1}{2}$	$f_1 = \frac{V}{2L}$
2		$L = 2\left(\frac{\lambda_2}{2}\right)$	$f_2 = 2f_1$
3		$L = 3\left(\frac{\lambda_3}{2}\right)$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

n	• • •	$L = n \left(\frac{\lambda_n}{2} \right)$	$f_n = \frac{nV}{2L}$
---	-------------	--	-----------------------

Mediante la observación de los perfiles de los armónicos se puede concluir que:

$$f_n = \frac{nV}{2L}$$

Ecuación 21: frecuencia natural.

Donde ***n*** son los números naturales, ***V*** la velocidad de propagación de las ondas viajeras transversales en la cuerda y ***L*** la longitud de la cuerda.

Resumiendo, si partimos de una cuerda tensa y elástica de longitud *L* sujeta por sus dos extremos (condición necesaria para que entre en vibración) y producimos una perturbación en su centro desplazándola de su posición de equilibrio, ésta tenderá a recuperar la posición de equilibrio mediante oscilaciones que perturbarán el aire generando ondas sonoras. Puesta en movimiento vibratorio una cuerda musical, las vibraciones se propagan a lo largo de la misma reflejándose en sus extremos, formando puntos donde la amplitud de las vibraciones es nula (nodos), mientras que se alcanzan otros puntos donde la amplitud de las vibraciones es máxima (vientres).

Las frecuencias de oscilación de la cuerda, son equivalentes a las frecuencias de las ondas producidas en el aire al perturbarse por el movimiento de las cuerdas, produciendo un sonido. El valor de las frecuencias producidas por una cuerda de longitud *L*, es

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Ecuación 22: frecuencias producidas por una cuerda de longitud L

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \text{ Hz} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Donde T es la tensión a la que está sometida la cuerda, anteriormente llamada F, y $\mu = S \mu$ es la masa por unidad de longitud, siendo S el área de la sección de la cuerda y μ su densidad lineal.

A partir de la ecuación anterior se pueden extraer varias conclusiones: se observa que si se varía la tensión T de la cuerda, manteniendo su longitud y su masa constante, se obtienen sucesivas series de armónicos, de forma análoga se obtienen manteniendo fija su tensión y su masa y variando su longitud. Así mismo, si se aumenta la tensión o se disminuye su longitud, la frecuencia aumenta. De forma análoga, para igualdad de longitud y tensión en la cuerda, las pesadas y gruesas producen sonidos más graves que las ligeras y delgadas.

- Vibraciones Producidas Por La Pulsación De Una Cuerda Fija

Cuando una cuerda fija por sus dos extremos es puesta en vibración mediante la pulsación de la misma, ésta adquiere lo hace a partir de varios de sus modos de resonancia naturales al mismo tiempo.

Las frecuencias de resonancia con las que vibrará dependerán del desplazamiento inicial provocado por la pulsación.

En una cuerda pulsada a $1/3$ de su longitud se podrían observar dos pulsos de onda desplazándose, uno en el sentido de las agujas del reloj, y el otro en el contrario. El tiempo de una propagación completa es un periodo. Si la cuerda vibra con una frecuencia fundamental de 440 Hz, este ciclo de vibración se repetirá 440 veces por segundo.

Por el Teorema de Fourier, podemos descomponer la vibración de la cuerda en sus diferentes armónicos.

El dibujo de abajo muestra la descomposición en los 6 primeros armónicos de la posición inicial de la cuerda al ser pulsada a $1/3$ de su longitud.

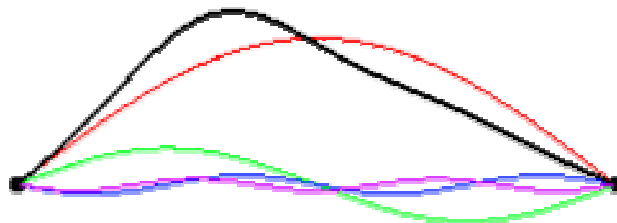


Fig 13: Seis primeros armónicos

Como se puede ver, están presentes los siguientes armónicos:

$$n=1, n=2, n=4, n=5$$

Los armónicos $n=3$ y $n=6$ no están presentes. Esto es debido a que los patrones de onda estacionaria poseen un nodo en el lugar donde se ha realizado la

pulsación. De este modo, todos los modos de vibración múltiplos del tercero poseen un nodo en $L/3$ y no serán excitados.

Se puede construir un "espectro de frecuencias" para la vibración de la cuerda pulsada del ejemplo determinando la amplitud de todos los modos presentes en la vibración.

La siguiente figura muestra este espectro para el ejemplo de la cuerda pulsada a $1/3$ de su longitud y hay que notar que, como se ha explicado, todos los modos múltiplos de 3 no están presentes.

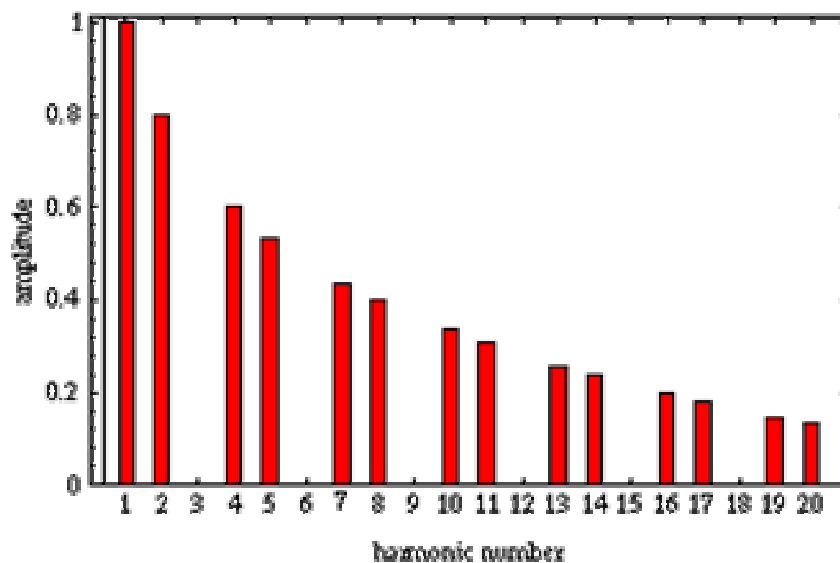


Fig 14: espectro de una cuerda pulsada $1/3$ de su longitud.

2.3.2 TEORIA PARA LA TRANSFORMADA DE FOURIER

Antes de ver como se realiza el proceso de conversión análogo digital debemos entender cual es el proceso con el cual se digitalizan las señales teóricamente mediante la transformada de fourier y sus variaciones. Cuando no se tiene

nociones previas, puede ser complicado comprender el concepto de "representación en frecuencia de una señal". Básicamente la Transformada de Fourier se encarga de transformar una señal del dominio del tiempo, al dominio de la frecuencia, de donde se puede realizar su antitransformada y volver al dominio temporal.

Por una señal continua entenderemos una función continua de una o varias dimensiones. Podemos encontrar ejemplos de distintos tipos de señales en los muy diversos aparatos de medida asociados al estudio de la física, química, biología, medicina, etc. Así por ejemplo, los distintos tipos de electrogramas que son usados en medicina son señales unidimensionales ya que se representan por una o varias curvas en función del tiempo, así como una señal de audio que va a un altavoz. Sin embargo, los distintos tipos de radiografías, así como todas las imágenes en 2D, son señales bidimensionales y los resultados de la tomografía axial computerizada y la resonancia nuclear magnética son señales tridimensionales.

Un prisma es un ejemplo común de cómo una señal es una composición de las señales de frecuencias que varían: mientras que la luz blanca pasa a través de un prisma, el prisma rompe la luz en sus componentes de frecuencia que revelan un espectro completo de color.

La frecuencia espacial de una imagen se refiere al rango en el cual las intensidades del píxel cambian. Las de alta frecuencia se concentran alrededor de los ejes que dividen la imagen en cuadrantes. Las esquinas tienen frecuencias más bajas, las frecuencias espaciales bajas se observan en áreas grandes de valores casi constantes.

Debido a su amplia gama de usos en el procesamiento de imagen, la transformada de Fourier es una de las más populares, y se aplica a una función continua de longitud infinita ***f(x)***. La expresión matemática de dicho cálculo es:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{j2\pi ux} dx$$

Ecuación 23: aplicación de la ecuación de Fourier.

Donde ***j*** = ***√-1***, y la variable ***u*** que aparece en la función ***F(u)*** representa a las frecuencias. Puede demostrarse además que esta transformación tiene inversa, es decir que dada la función ***F(u)*** podemos a partir de ella calcular la función ***f(x)***. La expresión matemática de dicha transformada inversa es:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{j2\pi ux} du$$

Ecuación 24: calculo de f(x) a partir de la ecuación f(u)

Estas dos funciones ***f(x)*** y ***F(u)*** se denominan un ***par de transformadas de Fourier***. Es importante señalar que aunque las funciones que definen a las imágenes son funciones reales sus transformadas de Fourier son funciones complejas con parte real y parte imaginaria. Así pues ***F(u)*** se expresará de forma general como:

$$F(u) = R(u) + jI(u)$$

Ecuación 25: expresión general de F(u)

donde $R(u)$ denota la parte real e $I(u)$ la parte imaginaria. Como todo número complejo para cada valor de u , $F(u)$ puede expresarse en términos de su **módulo** $|F(u)|$, también conocido como **espectro de frecuencia**, y de su **ángulo de fase** $\phi(u)$. Es decir, $F(u)$ también puede expresarse como:

$$F(u) = |F(u)|e^{j\phi(u)} \quad \text{donde} \quad \begin{aligned} |F(u)| &= [R^2(u) + I^2(u)]^{1/2} \\ \phi(u) &= \tan^{-1} \left[\frac{I(u)}{R(u)} \right] \end{aligned}$$

Ecuación 26: espectro de frecuencia de $F(u)$

En el caso de que la señal sea una función de dos dimensiones los conceptos que hemos introducido para el caso unidimensional se generalizan a este caso de forma directa. Así el par de transformadas Fourier en notación matemática se expresan de la siguiente manera, donde u y v son variables de frecuencias.

$$\begin{aligned} F(u,v) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy && \text{TF directa en 2D} \\ f(x,y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u,v) e^{j2\pi(ux+vy)} du dv && \text{TF inversa en 2D} \end{aligned}$$

Ecuación 27: transformada de Fourier directa en 2D

Rápidamente llega a ser evidente que las dos operaciones son muy similares con un signo menos en el exponente que es la única diferencia. Por supuesto, las funciones que se aplican son diferentes, una es una función espacial, la otra es una función frecuencial. Hay también un correspondiente cambio en las variables. En el dominio de la frecuencia, u representa la frecuencia espacial a lo largo del

eje x de las imágenes originales y v representa la frecuencia espacial a lo largo del eje y . En el centro de la imagen u y v tienen su origen.

2.3.3 TEORIA DEL ALGORITMO FFT (FAST FOURIER TRANSFORM)

Para entenderlo de manera sencilla la transformada rápida de Fourier es simplemente un algoritmo rápido para la evaluación numérica de integrales de Fourier desarrollado en los laboratorios de IBM, y su importancia radica en la rapidez de cálculo conseguida, importante en ANALOGIA.EXE, pero mucho más en otro tipo de aplicaciones: ecualización y filtrado en equipos de audio/vídeo en tiempo real, comunicaciones, etc.

Evidentemente hacemos uso del mismo en el programa para obtener rápidamente el espectro de la señal a partir de la señal temporal de entrada, aunque se podría haber hecho a partir de la integral discreta de Fourier, siendo en este caso necesario mucho más tiempo de cálculo.

La diferencia de velocidad de cálculo entre la tradicional transformada discreta y la FFT aumenta según aumenta el número de muestras a analizar, según se puede apreciar en la gráfica, ya que mientras una aumenta el número de operaciones necesarias para la resolución de forma exponencial, la otra lo hace de forma prácticamente lineal.

2.3.4 TEORIA PARA LA AUTOCORRELACION

La autocorrelación es una herramienta matemática utilizada frecuentemente en el procesado de señales. La función de autocorrelación se define como la correlación cruzada de la señal consigo misma. La función de autocorrelación resulta de gran utilidad para encontrar patrones repetitivos dentro de una señal, como por

ejemplo, la periodicidad de una señal enmascarada bajo el ruido o para identificar la frecuencia fundamental de una señal que no contiene dicha componente, pero aparecen numerosas frecuencias armónicas de esta.

Dependiendo del campo de estudio se pueden definir diferentes tipos de autocorrelación sin que estas definiciones sean equivalentes. En algunos campos se utilizan indistintamente las funciones de autocorrelación y de autocovarianzas, dado que ambas sólo difieren entre sí en una constante de proporcionalidad que es la varianza (en este caso, la autocovarianza de orden $k=0$).

En el procesamiento de señales, dada una señal temporal $f(t)$, la autocorrelación continua $R_f(\tau)$ es la correlación continua cruzada de $f(t)$ consigo mismo tras un desfase τ , y se define como:

$$R_f(\tau) = f^*(-\tau) \circ f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t+\tau)f^*(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)f^*(t-\tau) dt$$

Ecuación 28 ecuación de autocorrelacion

Donde f^* representa el conjugado complejo y el círculo representa una convolución. Para una función real, $f^* = f$.

Formalmente, la autocorrelación discreta R con un desfase j para una señal x_n es

$$R(j) = \sum_n (x_n - m)(x_{n-j} - m)$$

Ecuación 29: autocorrelacion discreta

Donde m es el valor esperado de x_n .

Frecuentemente las autocorrelaciones se calculan para señales centradas alrededor del cero, es decir con un valor principal de cero. En ese caso la definición de la autocorrelación viene dada por:

$$R(j) = \sum_n x_n x_{n-j}.$$

ecuación 30: autocorrelacion para señales centradas alrededor de cero

Las autocorrelaciones multidimensionales pueden definirse de manera similar. Por ejemplo, en tres dimensiones puede definirse la autocorrelación de una función como:

$$R(j, k, \ell) = \sum_{n,q,r} (x_{n,q,r} - m)(x_{n-j,q-k,r-\ell} - m).$$

Ecuación 31: autocorrelacion en tres dimensiones.

2.3.5 TEORIA PARA LA CONVERSION ANALOGO DIGITAL

Muchos equipos y dispositivos modernos requieren procesar las señales analógicas que reciben y convertirlas en señales digitales para poder funcionar. Por ser las grabadoras y reproductoras de música en medios digitales los equipos digitales más conocidos, es necesario entender el proceso de la conversión análogo digital.

El sonido se compone de variaciones de presión o vibraciones de moléculas de aire que llegan hasta nuestro sentido del oído en forma de ondas acústicas. Esas ondas serán audibles siempre que su frecuencia se limite a un rango superior a los 20 hertz o ciclos por segundo, para los sonidos más graves e inferior de los 20 mil hertz (20 kHz) o ciclos por segundo, para los más agudos. Cualquier cuerpo que vibre dentro de esa gama de frecuencias, podrá ser captado por nuestro sentido

del oído como una onda sonora audible. Más allá de los 20 kHz, las ondas se convierten en ultrasonidos, cuyas frecuencias el oído humano es incapaz de percibir, no así algunos animales como el perro, por ejemplo, que puede captar sonidos de hasta unos 30 kHz de frecuencia.

El sonido, independientemente que sea natural o artificial, posee intensidad, tono, timbre y frecuencia, lo cual los diferencia a unos de los otros y permite representarlos gráficamente como una onda sinusoidal, de amplitud y frecuencia variable.

A continuación aparece una representación gráfica de una onda sonora analógica producida por dos instrumentos musicales de percusión. Las pequeñas irregularidades visibles en el contorno de la línea que va formando el trazado de la sinusoide (semejante a pequeños dientes de una sierra), representan los armónicos que definen los timbres y los tonos característicos del sonido que producen ambos instrumentos de percusión cuando se mezclan. Las variaciones en amplitud y altura de las ondulaciones de la propia sinusoide representan la intensidad del sonido y la frecuencia en hertz (Hz) o kilohertz (kHz) de la onda sonora.

En la ilustración, el trazado o forma que toma esta onda sinusoidal en su mitad izquierda, corresponde a un tono grave, con una intensidad de sonido de bajo volumen, mientras que la mitad derecha responde a un tono agudo, con una intensidad de volumen de sonido más alta.

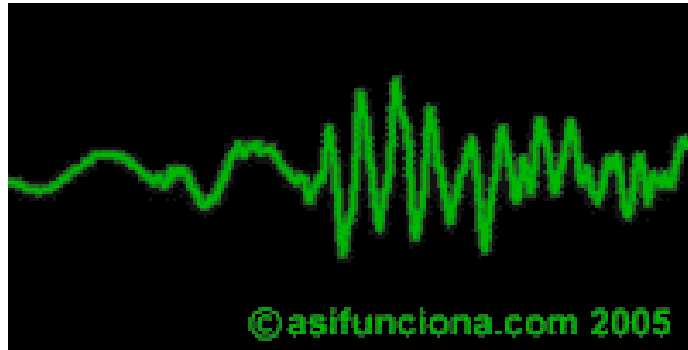


Fig 14: frecuencia grave y aguda

Si uno o varios sonidos diferentes presentes en una onda sonora son captados, por ejemplo, por un micrófono, obtendremos señales eléctricas analógicas de baja frecuencia o audiofrecuencia, es decir, frecuencias audibles, similares en su forma a las ondas sonoras que le dieron origen. Esas señales eléctricas las podemos amplificar y/o enviar a través de un cable (como sucede con el teléfono, por ejemplo), o transmitirla también por vía inalámbrica, tal como ocurre con las ondas que emiten las estaciones de radio.

Pero si además de la amplificación o transmisión de las ondas de sonido, contamos con un equipo adecuado de registro, esas señales eléctricas analógicas de audiofrecuencia también se pueden grabar y guardar en un medio masivo de almacenamiento, como pudiera ser una cinta magnetofónica, una videocinta, un CD, un DVD, etc., para su posterior reproducción.

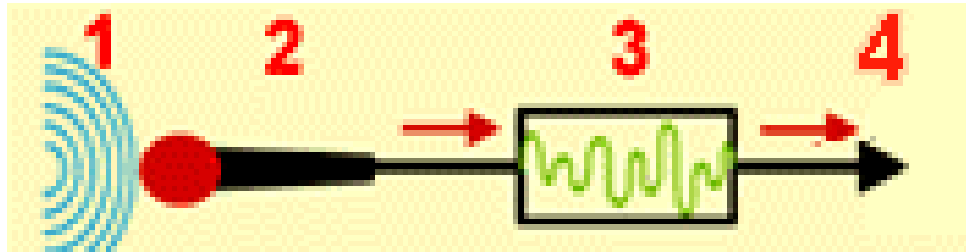


Fig 15: esquema de conversión simple

1. Onda sonora con intensidad, tono, timbre y frecuencia determinada.
2. Micrófono.
3. La misma onda sonora después de convertida en impulsos eléctricos por el micrófono. El sonido original se transforma en una onda eléctrica analógica senoidal (onda de audiofrecuencia), de igual intensidad, tono, timbre, frecuencia y forma gráfica, que la captada por el micrófono
4. Salida de la señal eléctrica de audiofrecuencia para ser grabada o amplificada localmente

El principio de funcionamiento de un micrófono es muy simple. Los tipos más sencillos poseen una membrana que vibra libremente cuando capta cualquier onda acústica o de sonido, ya sea voz, música o ruidos, convirtiéndola en señal eléctrica de audiofrecuencia, es decir, en una onda sinusoidal analógica de baja frecuencia y de muy poca tensión o voltaje, semejante a la del sonido captado. Cuando dicho sonido es fuerte, el micrófono genera una tensión más alta, o de mayor voltaje, que cuando es más débil. No obstante, como en cualquiera de los dos casos la tensión generada por el micrófono es de muy bajo voltaje, para que se pueda amplificar y hacerla nuevamente audible a un volumen más alto, es necesario pasarla primero por un amplificador de audio.

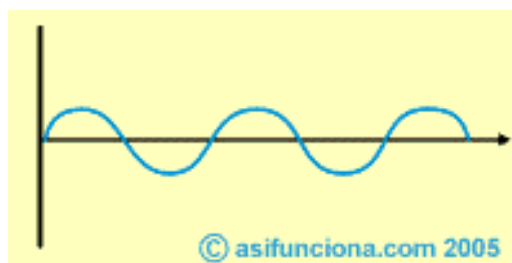


Fig 17: senoide correspondiente a un sonido grave en estado puro, es decir, sin armónicos añadidos y de intensidad constante, como el que produce el disparo de un cañón antiguo cuando se escucha de lejos.



Fig 18: representación gráfica de una senoide o señal analógica correspondiente a un sonido agudo, también puro y de intensidad constante como, por ejemplo, el de una sirena. En el caso específico de un sonido grave como el de la izquierda, el micrófono genera una tensión más débil que cuando el sonido es agudo. Eso se debe a que la amplitud o altura de la onda en el primer ejemplo es más reducida que en el segundo.

- SEÑAL ELÉCTRICA ANALÓGICA

Señal eléctrica analógica es aquella en la que los valores de la tensión o voltaje varían constantemente en forma de corriente alterna, incrementando su valor con signo eléctrico positivo (+) durante medio ciclo y disminuyéndolo a continuación con signo eléctrico negativo (–) en el medio ciclo siguiente. El cambio constante de polaridad de positivo a negativo provoca que se cree un trazado en forma de onda sinusoidal. Por tanto, una onda eléctrica de sonido puede tomar infinidad de valores positivos y negativos (superiores e inferiores), dentro de cierto límite de voltios también positivos o negativos, representados siempre dentro de una unidad determinada de tiempo, generalmente medida en segundos.

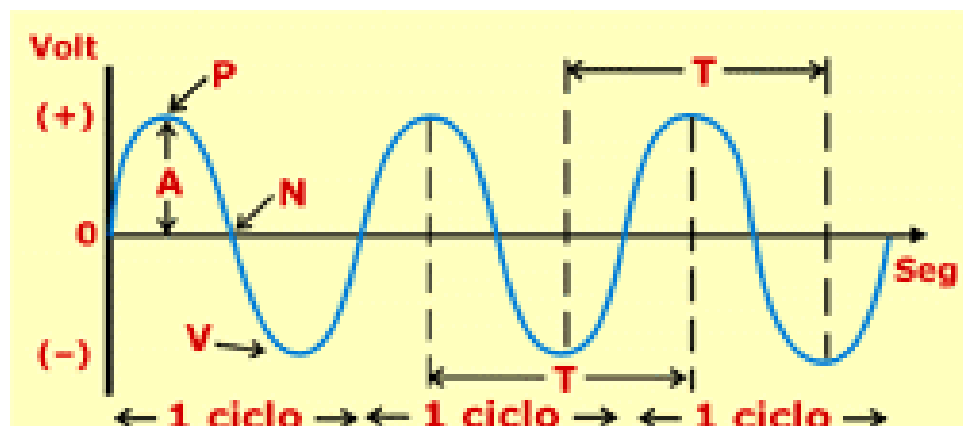


Fig 19: frecuencia, amplitud, periodo y representación en voltios de una onda sinusoidal.

Representación gráfica de una onda sinusoidal o sinusoidal alterna con una frecuencia de 3Hz hertz. Cada ciclo está formado por: amplitud de onda (A), siendo positiva (+) cuando la onda sinusoidal alcanza su máximo valor de tensión o

voltaje de pico (por encima de “0” voltios) y negativa (–) cuando decrece (por debajo de “0” voltios). El valor máximo que toma la señal eléctrica de una onda sinusoidal recibe el nombre de “cresta” o “pico” (P), mientras que el valor mínimo o negativo recibe el nombre de “vientre” o “valle” (V). La distancia existente entre una cresta o pico y el otro, o entre un valle o vientre y el otro se denomina “período” (T).

Una vez aclaradas las diferencias básicas entre la tecnología analógica y la digital, veamos ahora cómo se efectúa el proceso de conversión de una tecnología a otra.

Para realizar ese proceso el conversor **ADC** (Analog-to-Digital Converter- Conversor Analógico Digital) tiene que efectuar los siguientes procesos:

- 1.- **Muestreo** de la señal analógica.
- 2.- **Cuantización** de la propia señal
- 3.- **Codificación** del resultado de la cuantización, en código binario.

Muestreo de la señal analógica



Fig 22: Representación gráfica de medio ciclo positivo (+), correspondiente a una señal eléctrica analógica de sonido, con sus correspondientes armónicos. Como se podrá observar, los valores de variación de la tensión o voltaje en esta senoide pueden variar en una escala que va de “0” a “7” voltios.

Para convertir una señal analógica en digital, el primer paso consiste en realizar un muestreo (*sampling*) de ésta, o lo que es igual, tomar diferentes muestras de tensiones o voltajes en diferentes puntos de la onda senoidal. La frecuencia a la que se realiza el muestreo se denomina razón, tasa o también frecuencia de muestreo y se mide en kilohertz (kHz). En el caso de una grabación digital de audio, a mayor cantidad de muestras tomadas, mayor calidad y fidelidad tendrá la señal digital resultante.

Durante el proceso de muestreo se asignan valores numéricos equivalentes a la tensión o voltaje existente en diferentes puntos de la senoide, con la finalidad de realizar a continuación el proceso de cuantización.

Las tasas o frecuencias de muestreo más utilizadas para audio digital son las siguientes:

- 24 000 muestras por segundo (24 kHz)
- 30 000 muestras por segundo (30 kHz)
- 44 100 muestras por segundo (44,1 kHz) (Calidad de CD)
- 48 000 muestras por segundo (48 kHz)



Fig 23: Para realizar el muestreo (sampling) de una señal eléctrica analógica y convertirla después en digital, el primer paso consiste en tomar valores discretos de tensión o voltaje a intervalos regulares en diferentes puntos de la onda sinusoidal.

Por tanto, una señal cuyo muestreo se realice a 24 kHz, tendrá menos calidad y fidelidad que otra realizada a 48 kHz. Sin embargo, mientras mayor sea el número de muestras tomadas, mayor será también el ancho de banda necesario para transmitir una señal digital, requiriendo también un espacio mucho mayor para almacenarla en un CD o un DVD.

En la grabación de CDs de música, los estudios de sonido utilizan un estándar de muestreo de 44,1 kHz a 16 bits. Esos son los dos parámetros requeridos para que una grabación digital cualquiera posea lo que se conoce como "calidad de CD".

- Cuantización de la señal analógica

Una vez realizado el muestreo, el siguiente paso es la cuantización (*quantization*) de la señal analógica. Para esta parte del proceso los valores continuos de la senoide se convierten en series de valores numéricos decimales discretos

correspondientes a los diferentes niveles o variaciones de voltajes que contiene la señal analógica original.

Por tanto, la cuantización representa el componente de muestreo de las variaciones de valores de tensiones o voltajes tomados en diferentes puntos de la onda sinusoidal, que permite medirlos y asignarles sus correspondientes valores en el sistema numérico decimal, antes de convertir esos valores en sistema numérico binario.

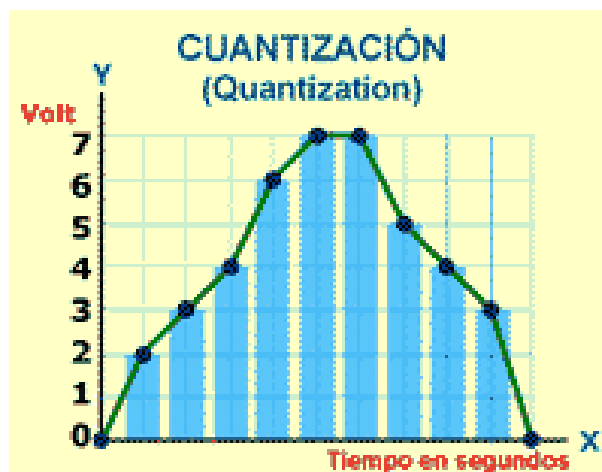


Fig 24: Proceso de cuantización (quantization) de la señal eléctrica analógica para su conversión en señal digital

- Codificación de la señal en código binario

Después de realizada la cuantización, los valores de las tomas de voltajes se representan numéricamente por medio de códigos y estándares previamente establecidos. Lo más común es codificar la señal digital en código numérico binario.



Fig 25: La codificación permite asignarle valores numéricos binarios equivalentes a los valores de tensiones o voltajes que conforman la señal eléctrica analógica original.

En este ejemplo gráfico de codificación, es posible observar cómo se ha obtenido una señal digital y el código binario correspondiente a los niveles de voltaje que posee la señal analógica.

La siguiente tabla muestra los valores numéricos del 0 al 7, pertenecientes al sistema decimal y sus equivalentes en código numérico binario. En esta tabla se puede observar que utilizando sólo tres bits por cada número en código binario, se pueden representar ocho niveles o estados de cuantización.

Valores en volt en Sistema Decimal	Conversión a Código Binario
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Y en esta otra tabla se puede ver la sustitución que se ha hecho de los valores numéricos correspondientes a los voltajes de las muestras tomadas de la señal analógica utilizada como ejemplo y su correspondiente conversión a valores en código binario.

Valor de los voltajes de la señal analógica del ejemplo	Conversión a Código Binario
0	000
2	010
3	011
4	100
6	110
7	111
7	111
5	101
4	100
3	011
0	000

2.3.6 TEORIA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS DSP

Actualmente los D.S.P. (Digital Signal Processor) se están convirtiendo en elementos muy comunes en el diseño electrónico, sustituyendo en algunas aplicaciones a los microprocesadores y microcontroladores. Principalmente se encuentran D.S.P. en circuitos relacionados con las telecomunicaciones, sistemas de audio y en algoritmos avanzados de control de motores. Por ejemplo, se puede encontrar D.S.P.. como integrantes de estas aplicaciones :

- Tarjetas con múltiples puertos serie en servidores para proveedores de acceso a Internet
- Compresión de voz en telefonía móvil
- Filtros complejos de sonido
- Líneas de retardo
- Generadores de eco
- Reconocimiento de señales DTMF
- Decodificación de canales en telefonía celular (GSM)

El D.S.P. de cerca

Los D.S.P. , al igual que los microprocesadores, son sistemas programables que nos permiten implementar muchos tipos de aplicaciones en función de las posibilidades del sistema y, por supuesto, de las habilidades del programador. Desde el punto de vista de la arquitectura interna, se podría decir que un D.S.P es un microprocesador (o un microcontrolador) optimizado internamente para realizar los cálculos necesarios para implementar algoritmos de proceso de señal. Esta optimización se consigue mediante algunos aspectos principales:

- implementación de operaciones por hardware

- instrucciones poco comunes que ejecutan varias operaciones en un solo ciclo
- modos de direccionamiento especiales
- memoria de programa ``ancha'', con más de 8 bits

La implementación de algunas operaciones mediante hardware consigue mejorar la velocidad media de cálculo, que se da en MIPS o en MegaFLOPS; normalmente, las instrucciones que se implementan son aquellas que se usan más a menudo. La impresionante capacidad de cálculo de un D.S.P. puede utilizarse también para implementar algoritmos digitales de control (por ejemplo, un controlador PID) y, otras labores realizadas tradicionalmente por microprocesadores.

La ejecución de varias operaciones en un sólo ciclo es posible ya que están implementadas como circuitería adicional y no como código microprogramado en la propia unidad central. Un ejemplo típico es la instrucción MAC (multiply and accumulate) que puede realizarse como un conjunto de puertas lógicas que estarán conectadas a uno o más registros especiales del D.S.P.

Los modos de direccionamiento especiales se implementan para agilizar el tratamiento de estructuras de datos (como por ejemplo, buffers circulares) similares a las que conocemos de lenguajes de programación de nivel medio-alto. De este modo se han implementado algunos modos de direccionamiento tales como:

- Direccionamiento circular
- Direccionamiento con bits invertidos
- Pre y post-modificación de los punteros de direcciones (similar al $n++$, $++n$, $n--$ y $--n$ del lenguaje C)

El uso de juego de instrucciones con palabras ``anchas" permite codificar en una sola palabra datos e instrucciones, disminuyendo de este modo el número de accesos a memoria por instrucción y aumentando así el rendimiento del sistema. Este método se usa igualmente en microcontroladores actuales, como la familia PIC.

Arquitectura Típica de un D.S.P.

Los D.S.P. abandonan la arquitectura clásica de Von Neumann, en la que datos y programas están en la misma zona de memoria, y apuestan por la denominada ``Arquitectura Harvard". En una arquitectura Harvard existen bloques de memoria físicamente separados para datos y programas. Cada uno de estos bloques de memoria se direcciona mediante buses separados (tanto de direcciones como de datos), e incluso es posible que la memoria de datos tenga distinta anchura de palabra que la memoria de programa (como ocurre en ciertos microcontroladores).

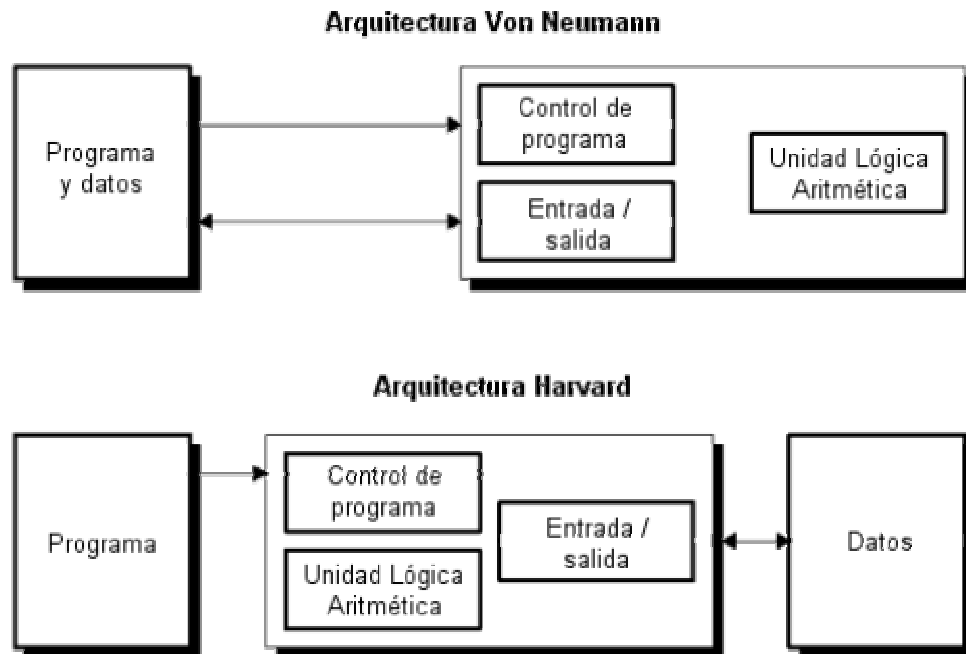


Fig 26: arquitectura los DSP

Con este diseño se consigue acelerar la ejecución de las instrucciones, ya que el sistema puede ejecutar simultáneamente la lectura de datos de la instrucción ``n" y comenzar a decodificar la instrucción ``n+1", disminuyendo el tiempo total de ejecución de cada instrucción.

Para ver esto más claro, se analiza en un microprocesador clásico, cuyo ciclo de trabajo es:

- leer la posición de memoria apuntada por el contador de programa
- decodificar la instrucción
- ejecutar la instrucción

En la ejecución de la instrucción se dan estos pasos:

- leer los datos de memoria

- operar con ellos
- dejarlos en la RAM

Por tanto, se podría observar que durante la lectura de los datos de una instrucción el bus está ocupado y no podría ser usado por otra unidad de decodificación, como aparece en muchos microprocesadores modernos, en los que se realizan simultáneamente la ejecución de la instrucción n y la decodificación de la instrucción $n+1$.

Normalmente en los D.S.P. se usa una arquitectura Harvard modificada con 3 buses: uno de programa y dos de datos, lo cual permite que la CPU lea una instrucción y dos operandos a la vez (pero no dos posiciones de memoria a la vez, para lo que hace falta una RAM de doble puerto). En el proceso de señales, las operaciones con 2 operandos son muy comunes, motivo por el cual se hace esta modificación.

También es bastante común encontrar un solapamiento entre la ROM y la RAM de datos, de modo que se pueden implementar por parte de la ROM de programa para almacenar coeficientes y leerlos en la RAM de datos, sin tener que usar instrucciones específicas para leer los datos almacenados en ROM, como ocurre en algunos microcontroladores, como la familia 8051, que posee la instrucción MOVX para tal fin.

La unidad aritmético-lógica de los D.S.P.

En el proceso digital de señales, una de las operaciones más comunes es el cálculo de sumas de productos, que también se usa bastante en sistemas digitales de control, por lo que cualquier mejora en esta zona mejorará el rendimiento global del circuito.

La multiplicación es una operación que es fácil de programar, aunque por su carácter iterativo es de una duración considerable. Así, por ejemplo, en un microprocesador 8086, una suma necesita 3 ciclos de reloj, mientras que una multiplicación en punto fijo puede necesitar unos 130-160 ciclos de reloj. En tareas normales, la multiplicación apenas supone el 1% del total de las operaciones, por lo cual los microprocesadores no suelen incorporar esta operación; pero en el proceso digital de señales es una de las operaciones principales, por lo cual se hace imprescindible la presencia de un multiplicador que la realice en el menor tiempo posible. Otra característica interesante de los D.S.P. es la existencia de dos unidades aritmético-lógicas, una general y otra de tipo específico. Estas dos unidades son:

- La unidad central aritmético - lógica
- La unidad generadora de direcciones

La unidad central aritmético-lógica se encarga de todos los cálculos, excepto los referentes a direcciones efectivas en direccionamiento indexado. En un microprocesador normal, las instrucciones que operan con datos indexados son las más lentas, ya que la UAL primero tiene que calcular la dirección efectiva del dato en cuestión, y luego operar con él. Puesto que en el proceso digital de señales es corriente trabajar con tablas, las operaciones que trabajen con direccionamiento indexado deben acelerarse cuanto se puedan. Para este fin, el D.S.P. incorpora una segunda UAL que se encarga solamente de hacer las sumas de la dirección base con el registro índice para obtener la dirección efectiva de nuestro dato y conseguir que la UAL principal no tenga que realizarla. La UAL central es una unidad aritmético-lógica de propósito general que trabaja con palabras de 16 ó 32 bits tomadas de la memoria de datos o provenientes de instrucciones inmediatas.

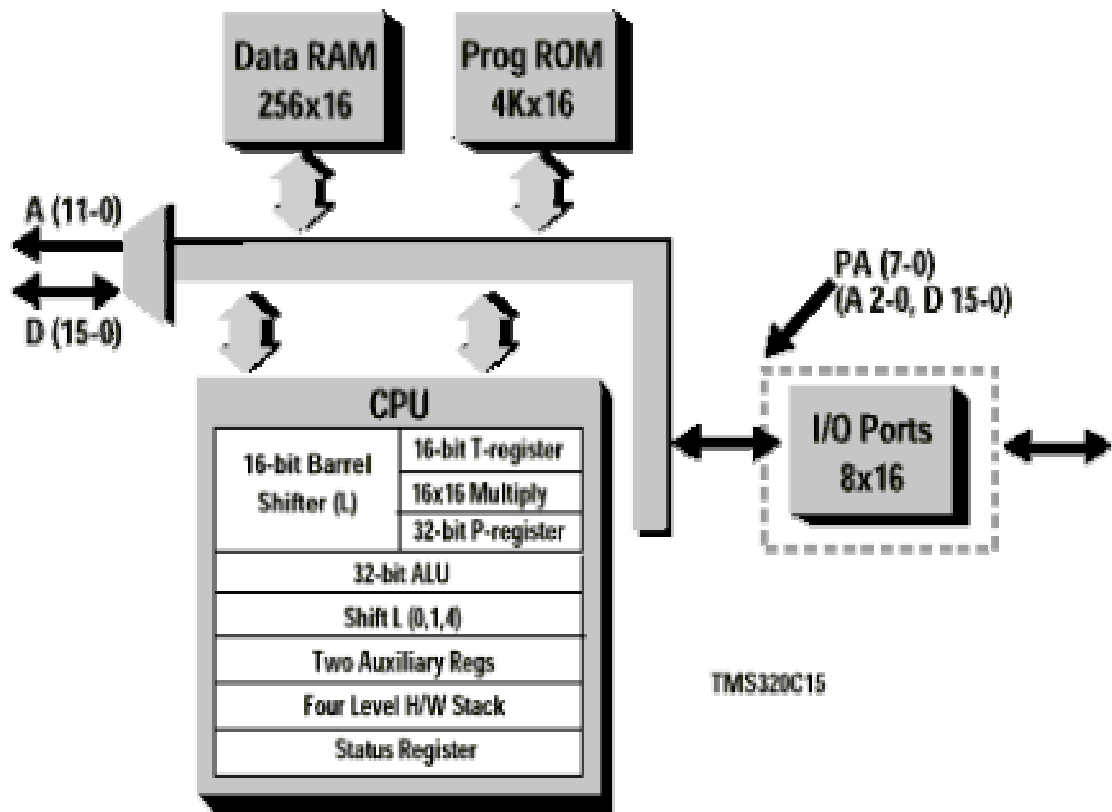


Fig 27: unidad aritmética de los DSP

Además de las instrucciones aritméticas habituales, la unidad central aritmético-lógica puede realizar operaciones booleanas, facilitando la manipulación de bits que se usa para el trabajo con números enteros con signo.

Los D.S.P. de propósito general trabajan con aritmética entera, pero también existen D.S.P. que operan en coma flotante. La salida de la UAL pasa al acumulador, que es un registro de 32 bits en el caso de un D.S.P. de 16 bits . Este registro puede dividirse en 2 segmentos de 16 bits para su almacenamiento en memoria. Para dividirlo se usan operaciones de rotación de bits, pero no las

realiza la UAL ya que para este fin existe un registro de desplazamiento incorporado dentro de la UAL .

La UAL de los D.S.P.'s presenta la posibilidad de multiplicar datos. Como sabemos, realizar una multiplicación en ensamblador consume bastante ciclos de reloj, debido a las sumas y desplazamientos que hay que hacer. En cambio, un D.S.P. realiza la multiplicación en un solo ciclo ya que incorpora un multiplicador construido a base de puertas lógicas.

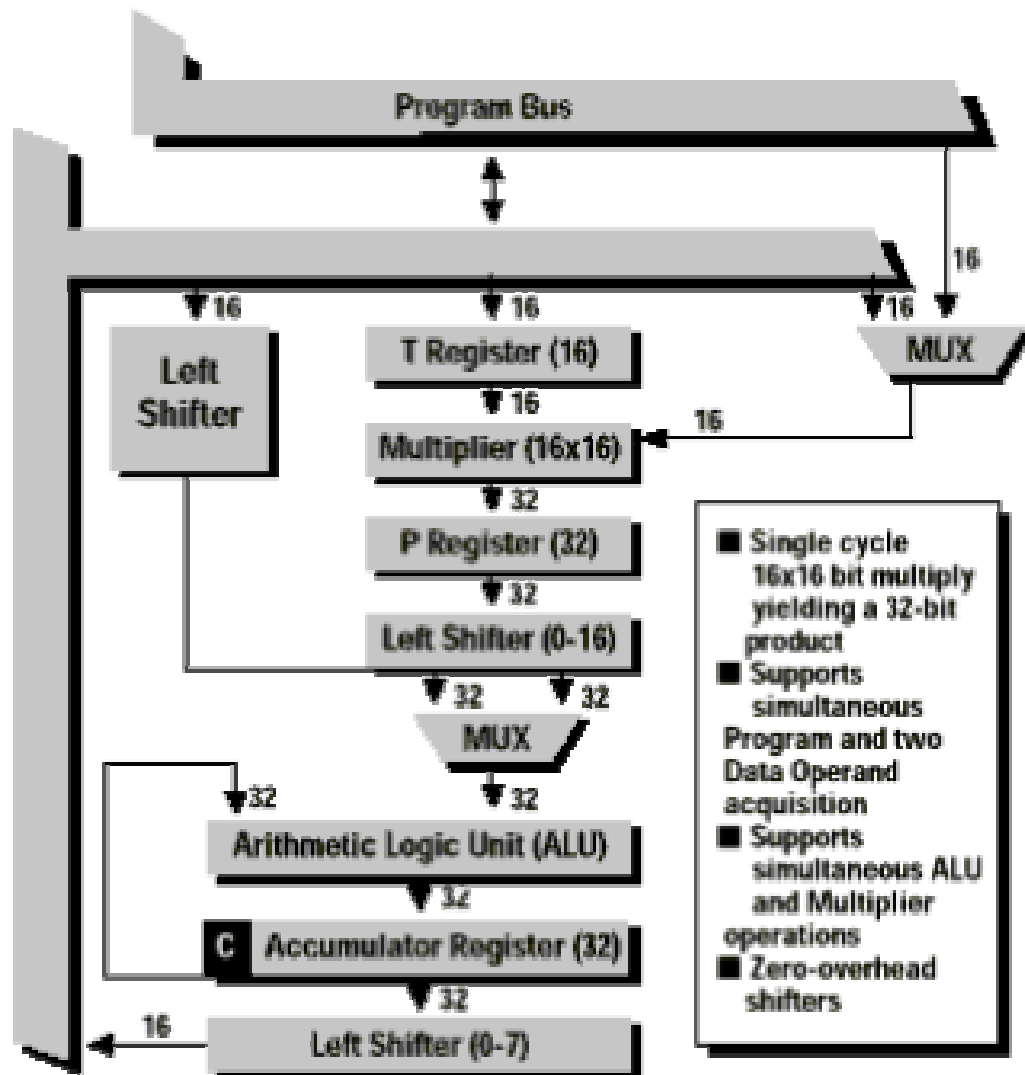


Fig 28: multiplicador construido a base de puertas lógicas

Normalmente la operación de multiplicación viene acompañada por la operación "MAC" (Multiply and accumulate) que implementa las sumas de productos que hemos visto antes y como siempre en un sólo ciclo de instrucción.

Los modos de saturación están también presentes en la UAL de un D.S.P. y se refieren a la posibilidad de configurar el comportamiento del D.S.P. cuando se produce un desbordamiento de bits en una operación aritmética; de este modo es más fácil trabajar en aritmética con signo.

2.3.7 TEORIA DE FUNCIONAMIENTO PARA EL PROTOCOLO MIDI

Tal como se ideó inicialmente, el MIDI permitía la comunicación entre instrumentos, de forma que, desde un único teclado controlador, se podían disparar sonidos en otras unidades.

Conviene resaltar que estos instrumentos no tenían por qué generar el sonido digitalmente (de hecho, en 1983 todavía muy pocos lo hacían); tan sólo era necesario que incluyeran un interfaz digital de comunicación. La gran revolución llegó, sin embargo, con la incorporación de los ordenadores personales.

Por su naturaleza, los ordenadores son especialmente indicados para grabar, almacenar, manipular y reproducir cualquier otro tipo de dato digital, lo que incluye a los datos MIDI y, con la ayuda del software oportuno, se pueden convertir en auténticos estudios de grabación y producción musicales. Otras posibles aplicaciones incluyen la ayuda a la composición, el aprendizaje y la educación musical o la impresión de partituras.

Los músicos profesionales se percataron de todo esto rápidamente y, a pesar que los ordenadores personales, que acababan de aparecer, eran una sombra de lo que son hoy en día, el ordenador MIDI no tardó en convertirse en una herramienta imprescindible en muchas áreas de la producción musical y audiovisual.

Por ello, si a la potencia de los actuales ordenadores le añadimos el espectacular abaratamiento sufrido por el hardware musical (tarjetas de sonido, teclados, etc.),

no es difícil imaginar que, actualmente, se pueda disponer en su casa de presentaciones que Peter Gabriel o Vangelis hubiesen envidiado hace tan sólo una década.

El MIDI no puede, lógicamente, suplir los conocimientos y las habilidades desarrolladas por un músico a lo largo de años de estudio y práctica, pero no es menos cierto que ha tenido un peso capital en la evolución de los estilos musicales de esta última década (pop, techno, new age, ambient, etc.) y que ha permitido nuevos enfoques de creación musical en los que las ideas y la imaginación juegan papeles más importantes que la pericia instrumental.

Mientras que las ideas básicas de audio digital son fácilmente comprensibles para cualquier usuario de ordenadores, en el MIDI se dan cita conceptos relacionados con la música, la informática y las comunicaciones que le otorgan un cierto aire mágico e inaccesible. Un sin fin de artículos poco claros y nada rigurosos, incluso en muchos casos plagados de incorrecciones, han colaborado a fomentar la idea de que el MIDI es un terreno vedado, sólo apto para eruditos de la música por ordenador. Desde estas páginas intentaremos deshacer malentendidos y aportar la información necesaria para que el lector se convenza de que no es necesario ser un gran músico o programador para iniciar sus pinitos compositivos, y que, desde luego, el MIDI tiene mucho que aportarle en este sentido.

Fundamentos y teoría para el protocolo de comunicación:

- Bytes Midi

El byte MIDI, a diferencia de los bytes estándar de ocho bits de las computadoras, está compuesto por diez bits. El primero es el bit de inicio (*start bit*, que siempre es 0) y el último el bit de terminación (*stop bit* que siempre es 1). Esto con el fin de

que los dispositivos MIDI puedan llevar la cuenta de cuantos bytes se han enviado o recibido. Los ocho bits restantes contienen los mensajes MIDI.

Existen dos tipos de bytes: De estado *-status byte-* y de información *-data byte-*. Se diferencian por el primer bit: si es un 1, tenemos un byte de estado, y si es un 0, es un byte de datos. Al generar un mensaje MIDI, por norma general, siempre se envía un byte de estado, que puede estar seguido de cierta cantidad de bytes de datos. Por ejemplo, podemos enviar un primer mensaje de estado "activar nota", seguido de un byte de datos informado qué nota es la que se activa. En algunas ocasiones y según el dispositivo MIDI que se trate, puede ocurrir que se omita el byte status si es idéntico al anterior. Por ejemplo, si se interpreta la tecla do de un piano mandaría:

- 1001xxxx (note on)
- 00111100 (valor 64 que corresponde a la nota do)
- 0xxxxxxx (la velocidad con la que haya sido apretada la tecla)
- Pero al soltarla, puede omitir el byte status y apagarla por volumen (otra posibilidad es que usase el 1000xxxx(note off) para apagarla). Es decir transmitiría sólo los dos siguientes bytes:
- 00111100 (valor 64 que corresponde a la nota do)
- 00000000 (la velocidad cero, que indica que tiene que dejar de sonar esa nota)
- Omitiendo así el byte status. Es más, si nuevamente pulsamos la tecla do, volvería a omitir el byte status.

A su vez, los mensajes de estado se dividen en dos grupos: mensajes de canal y mensajes de sistema. Los mensajes de canal se envían a un dispositivo específico, mientras que los mensajes de sistema son recibidos por todos los equipos.

En la siguiente tabla tenemos una lista con todos los mensajes disponibles.

Byte estado	Descripción
1000cccc	Desactivación de nota
1001cccc	Activación de nota
1010cccc	Postpulsación polifónica
1011cccc	Cambio de control
1100cccc	Cambio de programa
1101cccc	Postpulsación monofónica de canal
1110cccc	Pitch
11110000	Mensaje exclusivo del fabricante
11110001	Mensaje de trama temporal
11110010	Puntero posición de canción
11110011	Selección de canción
11110100	<i>Indefinido</i>
11110101	<i>Indefinido</i>
11110110	Requerimiento de entonación
11110111	Fin de mensaje exclusivo
11111000	Reloj de temporización
11111001	<i>Indefinido</i>
11111010	Inicio
11111011	Continuación
11111100	Parada
11111101	<i>Indefinido</i>
11111110	Espera activa
11111111	Reseteo del sistema

Tabla de mensaje midi

Los primeros bytes, cuyos últimos cuatro bits están marcados como "cccc", se refieren a mensajes de canal; el resto de bytes son mensajes de sistema.

Antes de explicar más detalladamente las características de algunos de los mensajes, conviene conocer dos importantes características de MIDI: los canales y los modos.

- Mensajes MIDI

Un mensaje MIDI se compone de un byte de estado de 8 bits a continuación del cual aparecen, por regla general, uno o dos bytes de datos. Existen distintos tipos de mensajes MIDI que, en su nivel más alto, se clasifican como **Mensajes de canal** o **Mensajes de sistema**. Los mensajes de canal, como su nombre indica, son aquellos aplicables a un canal concreto y contienen el número de canal en su byte de estado. Los mensajes de sistema no están dirigidos a ningún canal concreto por lo que no incluyen número de canal en su byte de estado.

Los mensajes de canal pueden clasificarse, además, en dos tipos: Channel Voice y Mode. Los primeros incluyen datos referentes a la interpretación musical (la inmensa mayoría de los datos de un flujo de señal MIDI típico) y los segundos, datos que alteran la forma en que el instrumento receptor interpreta los datos de los primeros.

Estos últimos se utilizan para transmitir información sobre la interpretación musical. Entre los mensajes englobados en esta categoría están: Note On, Note Off, Polyphonic Key Pressure, Channel Pressure, Pitch Bend Change, Program Change, Control Change, etc

Note On, Note Off, Velocity

En el protocolo MIDI, los movimientos efectuados al pulsar y soltar una tecla son considerados eventos independientes. Al pulsar una tecla, cuerda, etc. en cualquier instrumento controlador MIDI, el dispositivo emite un mensaje Note On a través del puerto MIDI Out. Si el instrumento está configurado para transmitir por cualquiera de los 16 canales MIDI, el byte de estado del mensaje Note On indicará el número de canal seleccionado. Siguen a este byte de estado dos bytes de datos que especifican el número de tecla (indicando qué nota se ha pulsado) y el valor de velocidad de pulsación (Velocity) que indica lo fuerte que se ha pulsado la tecla.

El generador de sonido que recibe el mensaje utiliza el número de tecla para determinar qué nota debe sonar y el valor de velocidad de pulsación para controlar la amplitud o volumen del sonido. Al soltar la tecla, el controlador emite un mensaje Note Off, que también incluye bytes de datos para el número de nota y la velocidad con que se ha soltado la tecla (este último dato habitualmente se ignora).

Aftertouch

Algunos instrumentos MIDI cuentan con la capacidad de medir la cantidad de presión que se aplica sobre las teclas, cuerdas, etc, una vez han sido pulsadas. Esta información sobre la cantidad de presión aplicada, denominada Aftertouch, se utiliza para controlar algunos aspectos del sonido producido por el generador correspondiente (por ejemplo, vibrato). Si el instrumento controlador dispone de sensores de presión independientes para cada tecla, etc., la información "polifónica" resultante se transmite como mensajes del tipo Polyphonic Key Pressure. Estos incluyen bytes de datos independientes para el número de tecla y la cantidad de presión.

Lo más habitual es que los teclados incorporen un solo nivel de presión para todo el teclado (no uno para cada tecla). Quizás la excepción más notable a esta regla establecida tácitamente por la mayoría de los fabricantes de sintetizadores sean los instrumentos de la firma Ensoniq, que si incorporan Polyphonic Key Pressure. Esta información de "presión por canal" (Channel Aftertouch) se transmite mediante el mensaje Channel Pressure, que sólo necesita un byte de datos para especificar el valor de presión.

Pitch Bend

El mensaje Pitch Bend se envía normalmente a partir del movimiento aplicado sobre la rueda de inflexión tonal que incorporan la inmensa mayoría de los teclados actuales (o a partir de "tirar" de las cuerdas en una guitarra MIDI, por ejemplo). Esta información se utiliza para modificar la altura tonal de los sonidos reproducidos en un canal determinado. Este mensaje incluye dos bytes de datos en vez de sólo uno, con lo que se dispone de una mayor resolución a la hora de definir los movimientos realizados sobre la rueda correspondiente (para que el sonido resultante sea continuo y no dé la sensación de moverse de forma escalonada).

Program Change

Este mensaje se utiliza para indicar el tipo de sonido a emplear en un canal determinado. Sólo precisa de un byte de datos que se encarga de especificar el nuevo número de programa.

Control Change

Estos mensajes MIDI se usan para controlar una gran variedad de funciones de un sintetizador. Como los restantes mensajes de canal, sólo afectan al canal

especificado mediante el byte de estado. A continuación del byte de estado aparecen un byte de datos que indica el número de controlador y un segundo byte de datos que indica el valor a aplicar. El número de controlador identifica qué función del generador de sonido se va a controlar. En la Especificación MIDI aparece una lista completa de los números de controlador definidos.

Bank Select

El controlador número 0 (con el valor 32 como LSB) se encarga de la selección de bancos de sonidos. Esta función se utiliza, junto con el mensaje de cambio de programa, para poder acceder a un mayor número de sonidos que los que contiene un solo banco (128). Los sonidos almacenados en bancos distintos al banco 1 se seleccionan anteponiendo al mensaje de cambio de programa un mensaje Control Change que especifica un nuevo valor para los controladores 0 y 32, lo que permite acceder a 16.384 bancos de sonidos con 128 programas cada uno (para que nadie pueda decir que se queda corto en cuanto a posibilidades sonoras).

Como la Especificación MIDI no describe la forma en que los bancos de un sintetizador deben relacionarse con los mensajes de selección de banco, no existe una forma estandar de seleccionar un banco en todos los sintes del mercado. Algunos fabricantes como Roland (con su estándar GS) y Yamaha (no podían ser menos, ellos cuentan con el estándar XG), han adoptado lo que les ha parecido más apropiado para asegurar una mínima estandarización en cuanto a la selección de bancos de sonidos en sus respectivas gamas.

RPN, NRPN

El controlador número 6 (Data Entry), junto con los controladores números 96 (Data Increment), 97 (Data Decrement), 98 (Registered Parameter Number LSB),

99 (Registered Parameter Number MSB), 100 (Non-Registered Parameter Number LSB) y 101 (Non-Registered Parameter Number MSB), permiten aumentar la cantidad de controladores disponibles. Los datos se transmiten seleccionando primero el número del parámetro a editar utilizando los controladores 98 y 99 ó 100 y 101. Luego se procede a definir el valor del parámetro utilizando los controladores 6, 96 o 97.

RPN y NRPN se utilizan habitualmente para enviar datos de parámetros a un sinte para la edición de sonidos. Los Números de parámetro registrados (Registered Parameter Number - RPN) son aquellos a los que las organizaciones MIDI Manufacturers Association (MMA) y Japan MIDI Standards Committee (JMSC) han asignado alguna función particular. Por ejemplo, existen RPNs definidos para controlar la sensibilidad de pitch bend y la afinación general de un sinte. Por su lado, los no registrados (Non-Registered Parameter Number - NRPN) no tienen asignada ninguna función específica y pueden ser utilizados de forma distinta según el fabricante. De nuevo en este caso Roland y Yamaha, entre otros, han adoptado sus propios estándares.

Mensajes Mode

Estos mensajes (controladores 121 al 127) afectan a la forma en que el generador de sonidos responde a los datos MIDI. El controlador 121 se utiliza para reinicializar todos los valores. El 122, para activar o desactivar la función Local Control (en un sinte MIDI con teclado, es posible independizar las funciones del teclado y el generador de sonidos desactivando esta función, facilitando así su funcionamiento con un secuenciador externo). Los controladores 124 a 127 se utilizan para activar o desactivar el modo Omni y para seleccionar los modos Mono o Poly.

Cuando está activado el modo Omni, el generador de sonidos responde a los mensajes MIDI recibidos por todos los canales. Si está desactivado, el generador sólo responderá a los mensajes recibidos por un canal específico.

En el modo Poly, los mensajes Note On entrantes se reproducen de forma polifónica, lo que significa que cuando se reciben múltiples mensajes Note On, a cada nota se le asigna su propia voz (dependiendo siempre del número de voces disponibles en ese momento en el generador de sonidos). Así, por ejemplo, al tocar un acorde sonarán todas las notas de forma simultánea. Al seleccionar el modo Mono, se asigna una sola voz por cada canal MIDI.

La mayoría de los instrumentos MIDI actuales funcionan por defecto en la configuración Omni On/Poly. El generador reproduce los mensajes de nota recibidos en cualquiera de los canales de forma polifónica. Por otra parte, la combinación Omni Off/Poly puede resultar útil en el caso que varios generadores de sonido estén conectados en cadena mediante sus puertos MIDI Thru, ya que cada uno de ellos recibirá los datos en un canal específico y reproducirá las notas de forma polifónica.

Hay que tener en cuenta que cualquier instrumento MIDI dispone de un canal designado como Canal básico y que sólo recibirá los mensajes de cambio de modo a través de este canal. Esta asignación puede ser fija o seleccionable por el usuario.

Mensajes System

Los mensajes de sistema se subdividen en mensajes System Common, System Real Time, o System Exclusive. Los primeros están destinados a todos los receptores del sistema; los segundos se utilizan para la sincronización de los elementos que funcionan mediante un reloj temporizador. Por su parte, los

mensajes de Sistema Exclusivo incluyen un código de identificación del fabricante y se utilizan para transferir bytes de datos formateados según una especificación diseñada por ese fabricante.

System Common

Actualmente están definidos los mensajes MTC Quarter Frame, Song Select, Song Position Pointer, Tune Request y End Of Exclusive (EOX). El mensaje MTC Quarter Frame forma parte de la información de código de tiempo MIDI utilizada para la sincronización de equipos MIDI con sistemas de audio y video.

El mensaje Song Select es utilizado por secuenciadores y cajas de ritmo capaces de almacenar varias composiciones distintas. Song Position Pointer se usa para iniciar la reproducción en un secuenciador; siempre en un punto distinto al inicio de la composición. Su valor está relacionado con el número de pulsaciones de reloj MIDI transcurridas desde el punto inicial de la composición. Este mensaje sólo puede ser utilizado con dispositivos capaces de reconocer mensajes System Real Time (MIDI Sync).

Tune Request se utiliza habitualmente para que un sintetizador analógico proceda a recalibrar la afinación de sus osciladores. Este mensaje carece de utilidad en el caso de los sintes digitales.

El mensaje EOX sirve para indicar la finalización de un flujo de datos de Sistema Exclusivo.

System Real Time

Estos mensajes tienen por fin la sincronización de todos los elementos de un sistema MIDI que funcionen mediante reloj MIDI (secuenciadores, cajas de ritmo,

arpegiadores, etc.). Para asegurar una correcta temporización, siempre tienen prioridad sobre los otros tipos de mensaje MIDI (los mensajes a tiempo real, de un solo byte, pueden aparecer en cualquier lugar del flujo de datos, incluso entre el byte de estado y el byte de datos de cualquier otro mensaje).

Estos mensajes de sistema a tiempo real son: Timing Clock, Start, Continue, Stop, Active Sensing y System Reset. Timing Clock es el reloj master que define el tempo de reproducción de una secuencia. Se transmite 24 veces por cada nota negra. Los mensajes Start, Continue y Stop se utilizan para controlar la reproducción.

Active Sensing sirve al propósito de eliminar notas "colgadas" que pueden aparecer al desconectar un cable MIDI durante la reproducción. Sin esta función, algunas notas pueden quedar sonando de forma indefinida (han sido activadas mediante un mensaje Note On pero el mensaje Note Off correspondiente no va a llegar nunca).

El mensaje System Reset, se encarga de reinicializar cualquier dispositivo MIDI. Por la importancia de sus efectos, generalmente no se transmite de forma automática; el usuario debe iniciar su emisión de forma manual.

System Exclusive

Los mensajes de Sistema Exclusivo pueden utilizarse para enviar datos como programas de sonido o muestras entre distintos dispositivos MIDI. Cada fabricante define sus propios formatos para este tipo de datos y dispone de un código de identificación único garantizado por la MMA y el JMSC. Esta ID del fabricante, incorporada en cada mensaje de Sistema Exclusivo, precede a los distintos paquetes de datos, a continuación de los cuales aparece el mensaje EOX mencionado anteriormente, con el que finaliza la transmisión de datos. Los

fabricantes están obligados a publicar los detalles que conforman sus formatos de datos de Sistema Exclusivo para que puedan ser utilizados libremente por otros fabricantes o por el propio usuario, siempre y cuando no se alteren o se utilice el formato de forma que entre en conflicto con las especificaciones originales definidas por el fabricante.

Algunos de estos números de identificación están reservados para protocolos especiales, entre los que figuran el Estándar para volcado de muestras MIDI (MIDI Sample Dump Standard), un formato de datos de Sistema Exclusivo dedicado a la transmisión de datos entre muestreadores; así como MIDI Show Control y MIDI Machine Control.

Running Status

Como los datos MIDI se transmiten en forma serial, es muy posible que dos o más eventos musicales que se produzcan en el mismo momento, al ser enviados uno detrás de otro, no se reproduzcan exactamente en el mismo instante. Con una velocidad de transmisión de datos de 31.25 Kbits/seg. y 10 bits transmitidos por cada byte, la transmisión de un mensaje Note On o Note Off de 3 bytes dura aproximadamente 1 milisegundo. Desde luego, generalmente esto es lo suficientemente rápido como para que esos eventos se perciban como simultáneos, aunque a nivel de números no sea así. Por ejemplo, se puede decir que ningún teclista es capaz de percibir ese pequeño desfase al tocar 10 teclas de forma simultánea, siempre y cuando las notas sean reproducidas en un lapso de tiempo inferior a unos 10 milisegundos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que los datos MIDI transmitidos por un secuenciador suelen incluir datos correspondientes a un gran número de pistas y que, en un momento determinado, puede llegar a existir un gran número de eventos que deban reproducirse de forma simultánea. En estos casos el retardo

introducido por la transmisión de datos en serie puede llegar a ser claramente perceptible. Para ayudar a reducir la cantidad de datos transmitidos en el flujo de datos MIDI, se emplea una técnica denominada Running Status.

Esta técnica toma en consideración el hecho de que es muy habitual que en una cadena de mensajes consecutivos, todos sean del mismo tipo. Por ejemplo, al tocar varios acordes, se generan un montón de mensajes Note On consecutivos, a los que siguen el montón de datos Note Off correspondientes. El truco consiste en que sólo se emite el byte de estado cuando el mensaje correspondiente no es del mismo tipo que el mensaje inmediatamente anterior (en un mismo canal MIDI, claro). Es decir, sólo se transmiten los bytes de datos para todos los mensajes del mismo tipo.

La efectividad de esta técnica mejora mucho más si en vez de enviar mensajes Note Off, se envían mensajes Note On con un valor de velocidad de pulsación igual a 0 (técnica utilizada, por ejemplo, en el secuenciador Logic Audio). De esta forma se producen largas cadenas de mensajes Note On, de transmisión más rápida que las originales cadenas cortas compuestas por mensajes de distintos tipos.

- Canales Midi

Como se comentó con anterioridad, MIDI está pensado para comunicar un único controlador con varias unidades generadoras de sonido (cada una de las cuales puede tener uno o varios instrumentos sintetizados que deseemos utilizar), todo por un mismo medio de transmisión. Es decir, todos los aparatos conectados a la cadena MIDI reciben todos los mensajes generados desde el controlador. Ello hace necesario un método para diferenciar cada uno de los instrumentos. Este método es el denominado *canal*.

MIDI puede direccionar hasta 16 canales (también llamados voces, o instrumentos); por ello, al instalar el sistema MIDI será necesario asignar un número de canal para cada dispositivo.

- Modos MIDI

Dentro del sistema MIDI, se decidió crear una serie de diferentes modos de funcionamiento, cada uno con ciertas características. Antes de verlo, debemos diferenciar entre los siguientes conceptos:

Monofónico: un instrumento monofónico sólo puede reproducir una nota simultáneamente. Es decir, para reproducir una nueva nota debe primero dejar de sonar la anterior. Por ejemplo, los instrumentos de viento son monofónicos, ya que sólo reproducen un único sonido cada vez.

Polifónico: un instrumento polifónico puede reproducir varias notas simultáneamente. Un ejemplo es un piano, que puede formar acordes por medio de hacer sonar dos o más notas a la vez.

Una vez aclarado este aspecto, podemos resumir los modos MIDI en la siguiente tabla:

Número	Nombre	Descripción
1	Omni on / poly	Funcionamiento polifónico sin información de canal
2	Omni on / mono	Funcionamiento monofónico sin información de canal
3	Omni off / poly	Funcionamiento polifónico con múltiples canales

4	Omni off / mono	Funcionamiento monofónico con múltiples canales
---	--------------------	---

Tabla de modos de funcionamiento MIDI

Los dos primeros modos se denominan "Omni on". Esto se debe a que en esos modos la información de canal está desactivada. Esas configuraciones se reservan para configuraciones donde sólo utilicemos un instrumento. Los otros dos modos, "Omni off", sí admiten la información de canal.

- El General MIDI

La necesidad de una mayor estandarización empezó a hacerse patente conforme iban aumentando la popularidad y el rango de aplicaciones del MIDI. El General MIDI nace en 1990, como addenda a la especificación MIDI 1.0, tras nuevas reuniones entre los principales fabricantes. Esta especificación establece las características mínimas que ha de satisfacer un sintetizador compatible con el General MIDI:

- Capacidad multitímbrica de 16 canales. Polifonía mínima de 24 notas.
- Lista o mapa estándar de 128 programas (véase tabla anterior).
- Incorporación de una caja de ritmos accesible siempre desde el canal 10, dotada asimismo de un mapa estándar de 59 sonidos de percusión (véase tabla 10.1).

Este estándar es opcional, y los fabricantes no están obligados a seguirlo, aunque sí deben satisfacerlo al 100% si desean colocar sobre su producto una etiqueta "compatible General MIDI".

Pero no todo es maravilloso en el General MIDI. Aunque se especifique los instrumentos disponibles, no se impone ninguna condición sobre su calidad. Así, el número 73 le corresponde a la flauta, pero la diferencia entre la flauta de una tarjeta de sonido de 10.000 ptas. y la de un sintetizador de 200.000 ptas. puede en efecto resultar abismal! Asimismo, observando los nombres definidos en la tabla anterior. Se puede comprobar la vaguedad y ambigüedad descriptivas de algunos instrumentos, especialmente en los sonidos electrónicos (duendes, celestial, etc.). Por otro lado, aunque este estándar agiliza muchas tareas, al músico profesional que utiliza el MIDI para obtener un producto final en forma de audio (disco compacto, etc.) y que por consiguiente, no persigue a priori el intercambio de ficheros, le supone una notable pérdida de posibilidades. En efecto, ver reducido el infinito universo sonoro a una triste paleta de 128 instrumentos no favorece demasiado a la música. Por ello, a partir de cierto precio, los instrumentos compatibles suelen ofrecer dos modos de trabajo seleccionables: el modo General MIDI y el nativo, con mayores posibilidades sonoras.

- Cables Y Conectores

Un cable MIDI utiliza un conector del tipo DIN de 5 pines o contactos. La transmisión de datos sólo usa uno de éstos, el número 5. Los números 1 y 3 se reservaron para añadir funciones en un futuro. Los restantes (2 y 4) se utilizan -respectivamente- como blindaje y para transmitir una tensión de +5 voltios, para asegurarse que la electricidad fluya en la dirección deseada. La finalidad del cable MIDI es la de permitir la transmisión de los datos entre dos dispositivos o instrumentos electrónicos. En la actualidad, los fabricantes de equipos económicos y por ello, muy populares, de empresas tales como Casio, Korg y Roland han previsto la sustitución de los cables y conectores MIDI estándar, por los del tipo

USB que son más fáciles de hallar en el comercio y que permiten una fácil conexión a las computadoras personales.

- Conexiones

El sistema de funcionamiento MIDI es de tipo *simplex*, es decir, sólo puede transmitir señales en un sentido. La dirección que toman las señales es siempre desde un dispositivo 'maestro' hacia un dispositivo 'esclavo'. El primero genera la información y el segundo la recibe.

Para entender bien el sistema de conexión, debemos saber que en un aparato MIDI puede haber hasta tres conectores:

MIDI OUT: conector del cual salen los mensajes generados por el dispositivo maestro.

MIDI IN: sirve para introducir mensajes al dispositivo esclavo.

MIDI THRU: también es un conector de salida, pero en este caso se envía una copia exacta de los mensajes que entran por *MIDI IN*.

El formato más simple de conexión es el formado por un dispositivo maestro (por ejemplo, un controlador) y un esclavo (como un sintetizador). En este caso, el maestro dispondrá de un conector *MIDI OUT*, de donde saldrán los mensajes MIDI generados, el cual deberemos unir al conector *MIDI IN* en el esclavo.

MIDI admite la conexión de un solo maestro a varios dispositivos esclavos en cascada. Para esos casos se utilizará *MIDI THRU*, uniendo el maestro con una de las unidades del modo descrito anteriormente. En el conector *MIDI THRU* de esa unidad se obtiene una copia de los mensajes MIDI que se introducen a través de *MIDI IN*, por lo que ese *MIDI THRU* se conectará con *MIDI IN* de otra de las unidades.

Supongamos que uno de los esclavos también incluye un controlador (como un sintetizador con teclado). Éste dispondrá de conector *MIDI OUT*. En ese caso,

obtendremos los mensajes generados desde controlador en *MIDI OUT*, mientras que los mensajes correspondientes al controlador situado al inicio de la cadena aparecerán en *MIDI THRU*.

Por último, si se dispone de un aparato secuenciador (capaz de almacenar y reproducir información MIDI recibida), se conectará entre el controlador y la primera unidad generadora de sonido. En ese caso, el secuenciador dispondrá de conectores *MIDI OUT* y *MIDI IN*.

Aunque existe la posibilidad de la conexión en cascada de varios aparatos MIDI, es cierto que existe una limitación. Las características eléctricas de los conectores MIDI hacen la señal proclive a la degradación, por lo que son pocos los aparatos que se pueden conectar en cascada antes de notar pérdidas apreciables de información.

- Software

La especificación MIDI incluye un aspecto de software que parte de la misma organización de los bytes.

- Hardware Y Conexiones Externas

Buena parte de los dispositivos MIDI son capaces de enviar y recibir información, pero desempeñan un papel diferente dependiendo de si están recibiendo o enviando información, también depende de la configuración del programa o programas que se puede usar dicho dispositivo. El que envía los mensajes de activación se denomina Maestro (del inglés *master*, o 'amo') y el que responde a esa información Esclavo (*slave*).

- Dispositivos

Los aparatos MIDI se pueden clasificar en tres grandes categorías:

Controladores: generan los mensajes MIDI (activación o desactivación de una nota, variaciones de tono, etc.). El controlador más familiar a los músicos tiene forma de teclado de piano, al ser este instrumento el más utilizado a la hora de componer e interpretar las obras orquestales; sin embargo, hoy día se han construido todo tipo de instrumentos con capacidad de transmisión vía interfaz MIDI: guitarras, parches de percusión, clarinetes electrónicos, incluso gaitas MIDI.

Unidades generadoras de sonido: también conocidas como módulos de sonido, reciben los mensajes MIDI y los transforman en señales sonoras (recordemos que MIDI no transmite audio, sino paquetes de órdenes en formato numérico).

Secuenciadores: no son más que aparatos destinados a grabar, reproducir o editar mensajes MIDI. Pueden desarrollarse bien en formato de hardware, bien como software de computadora, o bien incorporados en un sintetizador. Éstos son los tres grandes tipos de aparatos MIDI. Aún así, podemos encontrar en el mercado aparatos que reúnen dos o tres de las funciones descritas. Por ejemplo, los órganos electrónicos disponen de un controlador (el propio teclado) y una unidad generadora de sonido; algunos modelos también incluyen un secuenciador.

- Controlador Y Unidad Generadora De Sonido

Tanto en el sentido de generar los sonidos se auto-complementa en el sentido de grabación - difusión - al mismo tiempo con consolas preparadas y dispuestas para dicho sistema. Ejemplo: Sea una o varias voces humanas o generada por instrumental se compaginan cambiando información ó datos, tarea que es realizada en el sistema MIDI

- Secuenciador

Un secuenciador es un dispositivo que permite realizar grabaciones de datos MIDI paso a paso donde quedan almacenados la altura MIDI (0-127) duración la nota, la velocidad (análoga a la intensidad con valores de 0 a 127) el tipo de instrumentos (patch) y efectos. Todo esto se combina para formar el corpus de datos a emitir. Estos datos pueden ser utilizados para piezas de música, así como para el control de consolas de luces, consolas de audio o cualquier equipamiento que interprete el protocolo MIDI y pueda estos para fines particulares.

- Tabla De Frecuencias, Notas Y Equivalencia En Numero MIDI

	Frequency	Keyboard	Note name	MIDI number
	4186.0		C8	108
	3951.1		B7	107
3729.3	3520.0		A7	106
3322.4	3136.0		G7	104
2960.0	2793.8		F7	102
	2637.0		E7	100
2489.0	2349.3		D7	99
2217.5	2093.0		C7	97
	1975.5		B6	95
1864.7	1760.0		A6	94
1661.2	1568.0		G6	92
1480.0	1396.9		F6	90
	1318.5		E6	88
1244.5	1174.7		D6	87
1108.7	1046.5		C6	85
	987.77		B5	83
932.33	880.00		A5	82
830.61	783.99		G5	80
739.99	698.46		F5	78
	659.26		E5	76
622.25	587.33		D5	75
554.37	523.25		C5	73
	493.88		B4	71
466.16	440.0		A4	69
415.30	392.00		G4	68
369.99	349.23		F4	66
	329.63		E4	64
311.13	293.67		D4	63
277.18	261.6		C4	61
	246.94		B3	59
233.08	220.00		A3	58
207.65	196.00		G3	56
185.00	174.61		F3	54
	164.81		E3	52
155.56	146.83		D3	51
138.59	130.81		C3	49
	123.47		B2	47
116.54	110.00		A2	46
103.83	97.999		G2	44
92.499	87.307		F2	42
	82.407		E2	40
77.782	73.416		D2	39
69.296	65.406		C2	37
	61.735		B1	35
58.270	55.000		A1	34
51.913	48.999		G1	32
46.249	43.654		F1	30
	41.203		E1	28
38.891	36.708		D1	27
34.648	32.703		C1	25
	30.868		B0	23
29.135	27.500		A0	22

Fig 29: Tabla De Frecuencias, Notas Y Equivalencia En Numero MIDI.

3 METODOLOGIA.

3.1 ENFOQUE DE LA INVEVESTIGACION

Este proyecto tiene un enfoque Empírico – Analítico debido a que el interés de este es realizar una investigación técnica y científica, soportada en la recolección de información, el desarrollo matemático de un algoritmo y la implementación de este mismo con el fin de facilitarle a los músicos, ingenieros de sonido y productores musicales la conversión de una nota musical a una nota MIDI para un instrumento esencial del proceso creativo y estructural de una pieza musical como lo es el bajo.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN, SUB – LINEA DE FACULTAD Y CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

Este proyecto se suscribe a la línea de **Tecnologías Actuales Y Sociedad** de la Universidad de San Buenaventura debido a que en la actualidad la sociedad requiere de conocimientos técnicos y científicos actualizados que faciliten el proceso de la producción musical.

Lo anterior se relaciona con la sublínea de **Procesamiento de Señales Digitales y/o Analógicas** de la facultad de ingeniería respondiendo al interrogante ¿Que diseños Responderán a los requerimientos del procesamiento de señales digitales y/o analógicas en los diversos ámbitos disciplinares?

Finalmente dentro del programa de ingeniería de sonido se encuentra en el **Campo De Diseño De Sistemas De Sonido** debido a que esta investigación, mediante el manejo de las herramientas matemáticas y el procesamiento de las señales busca optimizar el proceso de la creación musical, para de esta forma

perfeccionar el trabajo creativo y satisfacer las necesidades de las personas relacionadas con el medio musical.

3.3 TÈCNICAS DE RECOLECCIÒN DE INFORMACIÒN.

Las técnicas de recolección de información que se implementaron para el diseño, el desarrollo y la ejecución del dispositivo conversor de nota musical a nota MIDI para bajo eléctrico están determinadas en 5 fases las cuales están orientadas a cumplir con los objetivos específicos del proyecto y son las siguientes:

- I. Determinación del método de selección y filtrado de las frecuencias provenientes del instrumento musical mediante varias técnicas de procesamiento y captura de señales de audio por medio del software MATLAB. En esta primera fase se determino el método de procesamiento y algoritmo matemático que permitió la filtración y selección de las frecuencias.
- II. Selección y Programación del dispositivo de procesamiento de señal que interpretara los filtros diseñados en el proceso anterior para darle paso a la conversión análogo digital y posteriormente interpretación del lenguaje MIDI. En este proceso se determino cual era el DSP mas practico, efectivo y funcional para realizar el proceso de conversión y que funcionase en tiempo real.
- III. Implementación y transducción de los datos digitales para la interpretación del lenguaje MIDI por medio de su sistema de comunicación. En esta instancia se realizo el proceso de conversión e interpretación de los datos digitales encontrados después del proceso de filtrado, selección y conversión para establecer una comunicación mediante el Protocolo MIDI.
- IV. Análisis y construcción del dispositivo físico ergonómico propuesto para el instrumento hacia el cual iba dirigida la investigación. En esta etapa se determinó la manera de comunicación física del instrumento con el dispositivo

de procesamiento de señal para ser implementado en cualquier computadora de escritorio o personal.

- V. Implementación didáctica del dispositivo conversor para los estudiantes de ingeniería de sonido de la universidad de san buenaventura.
- VI. Presentación de los resultados y comprensión del funcionamiento del sistema de conversión de nota musical a nota MIDI para el bajo eléctrico

3.4 HIPÓTESIS.

Mediante el análisis de un sistema de comunicación y el desarrollo de un algoritmo matemático capaz de recibir, seleccionar y transducir las señales de ejecución de un instrumento musical como el bajo eléctrico, es posible realizar una conversión análogo digital para que estas señales sean interpretadas por el lenguaje de comunicación MIDI y a su vez enlazadas con software de producción musical.

3.5 VARIABLES

3.5.1 Variables Independientes:

- Dispositivo conversor de nota musical a nota MIDI para bajo eléctrico.
- Las características técnicas y sonoras del instrumento musical. (que el instrumento este octavado, afinado y en condiciones eléctricas y acústicas optimas).

3.5.2 Variables Dependientes:

- Nota MIDI.
- Que el dispositivo de procesamiento de señal y posterior conversión reciba correctamente la señal proveniente del instrumento.

4 DESARROLLO INGENIERIL

El protocolo de comunicación MIDI, el cual no solo sirve para la creación, grabación e interpretación de piezas musicales, tiene además otro tipo de implementaciones y aplicaciones como el control de dispositivos externos a la ejecución musical; estos eventos como las luces, videos, imágenes, secuencias, sonidos y todo lo que pueda ser controlado mediante las diferentes configuraciones de conexión lógica del MIDI, son operadas generalmente en su inicio maestro por un teclado o un sintetizador.

Sin embargo es usual que los músicos profesionales y/o aficionados que se especializan en instrumentos de cuerda no lo hagan en instrumentos de teclado como el piano de cuerdas percutidas o el teclado electrónico y viceversa.

Por esta razón y porque en su extensa mayoría los controladores MIDI son diseñados para instrumentos electrónicos de tecla, existen limitantes en el proceso de creación, grabación e interpretación musical para las personas que solamente están familiarizadas con los instrumentos de cuerda como los interpretes de bajo y guitarra.

Para esto y con el fin de facilitarles a los intérpretes del bajo eléctrico la viabilidad para implementar su instrumento en el lenguaje de comunicación digital, se diseñara un conversor de nota musical a nota MIDI para este instrumento. Para lo cual se plantea una solución ingenieril sustentada en:

- I. La exploración del rango de frecuencias en el cual se encuentra ubicado el instrumento musical por medio de algún software de análisis. Esto con el objetivo elegir alguna de las teorías implementadas para el análisis de señales desplazadas en el tiempo en función de su frecuencia.

- II. El desarrollo de un sistema de comunicación fácil de implementar entre el instrumento electro-acústico y el dispositivo de procesamiento de señal. Esto con el fin de facilitar el proceso de conversión o interpretación de la información que ingresara en el dispositivo de procesamiento proveniente del instrumento.
- III. La implementación en la herramienta de programación matemática MATLAB y su aplicación SIMULINK, de un algoritmo capaz de interpretar la entrada del instrumento musical para posteriormente ser analizada en función de su frecuencia mediante alguno de los métodos de análisis de señales.
- IV. La interpretación de las frecuencias encontradas por medio del algoritmo matemático junto con los datos de interpretación, (nota apagada, nota prendida, velocity o aftertouch) * numero de canal y nota MIDI. Serán los datos que nos entregaran la información que el dispositivo de procesamiento de señal interpretará en su salida digital.
- V. Seleccionar el dispositivo de procesamiento de señal que mejor se adapte a la aplicabilidad del algoritmo matemático que procesó la señal, para que su funcionamiento se realice en tiempo real con respecto a la ejecución del instrumento.
- VI. lograr mediante la salida digital del dispositivo de procesamiento de señal, de manera codificada o física, que un software de producción musical interprete los datos transducidos por el dispositivo conversor, para que pueda ser controlado por el instrumento musical.
- VII. Obtener de manera didáctica que los estudiantes interesados en el medio de la producción de audio conozcan el dispositivo de conversión de nota musical a nota MIDI para bajo eléctrico por medio de un paquete instructivo llamado MIDIBASS.
- VIII. Presentar el informe de los elementos que intervinieron en el proyecto.

* Ver, Marco de referencia. Marco teórico. Mensajes MIDI p.64

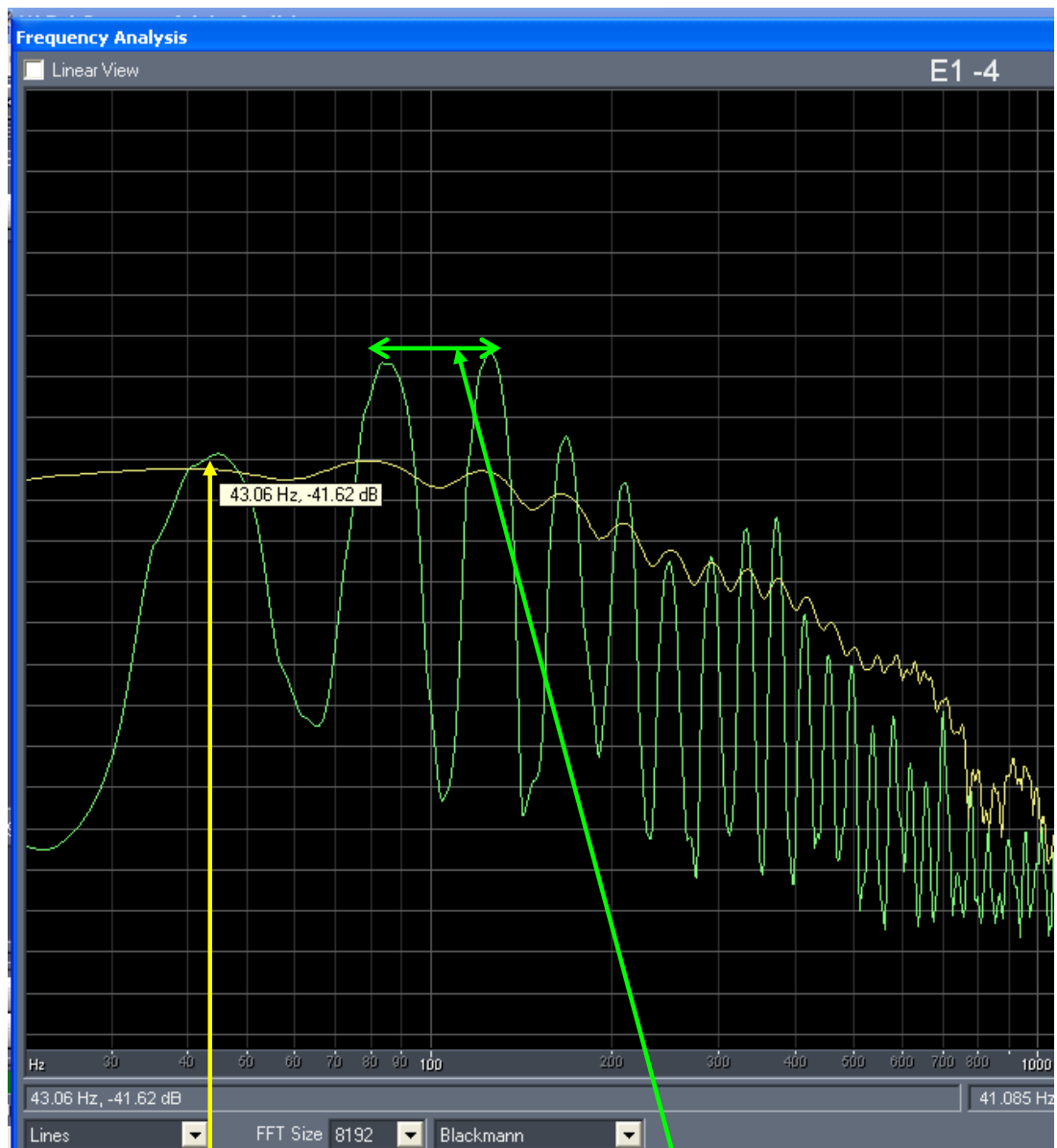
4.1 EXPLORACION DEL RANGO DE FRECUENCIA DEL INSTRUMENTO MUSICAL. (Bajo Eléctrico)

Rango De Frecuencias De Los Instrumentos Musicales

Instrumento	Fundamental	Armónicos
Flauta	261-2349	3-8 KHz
Oboe	261-1568	2-12 KHz
Clarinete	165-1568	2-10 KHz
Fagot	62-587	1-7 KHz
Trompeta	165-988	1-7.5 KHz
Trombón	73-587	1-4 KHz
Tuba	49-587	1-4 KHz
Tambor	100-200	1-20 KHz
Bombo	30-147	1-6 KHz
Platillos	300-587	1-15 KHz
Violín	196-3136	4-15 KHz
Viola	131-1175	2-8.5 KHz
Cello	65-698	1-6.5 KHz
Bajo acústico	41-294	1-5KHz
Bajo eléctrico	41-300	1-7 KHz
Guitarra acústica	82-988	1-15 KHz
Guitarra eléctrica (amplif.)	82-1319	1-3.5 KHz
Guitarra eléctrica (directa)	82-1319	1-15 KHz
Piano	28-4196	5-8 KHz
Saxo Soprano	247-1175	2-12 KHz
Saxo alto	175-698	2-12 KHz
Saxo tenor	131-494	1-12 KHz
Cantante	87-392	1-12 KHz

Teniendo presente que el bajo eléctrico tiene su espectro centrado entre 41 y 300Hz se analizaran cinco (5) frecuencias del instrumento, entre las cuales se encuentran la mas grave que este instrumento produce, la mas aguda y tres (3) intermedias que arrojaran algunos indicios del comportamiento de este instrumento, las frecuencias fundamentales de cada nota y los armónicos que cada una de estas puede producir.

Fig 30: Primer “Mi” para la cuarta cuerda.



Primer “Mi” en la cuarta cuerda.

Primero y segundo armónico

En 80 y 123 Hz aprox.

Fig 31: "C" para la tercera cuerda

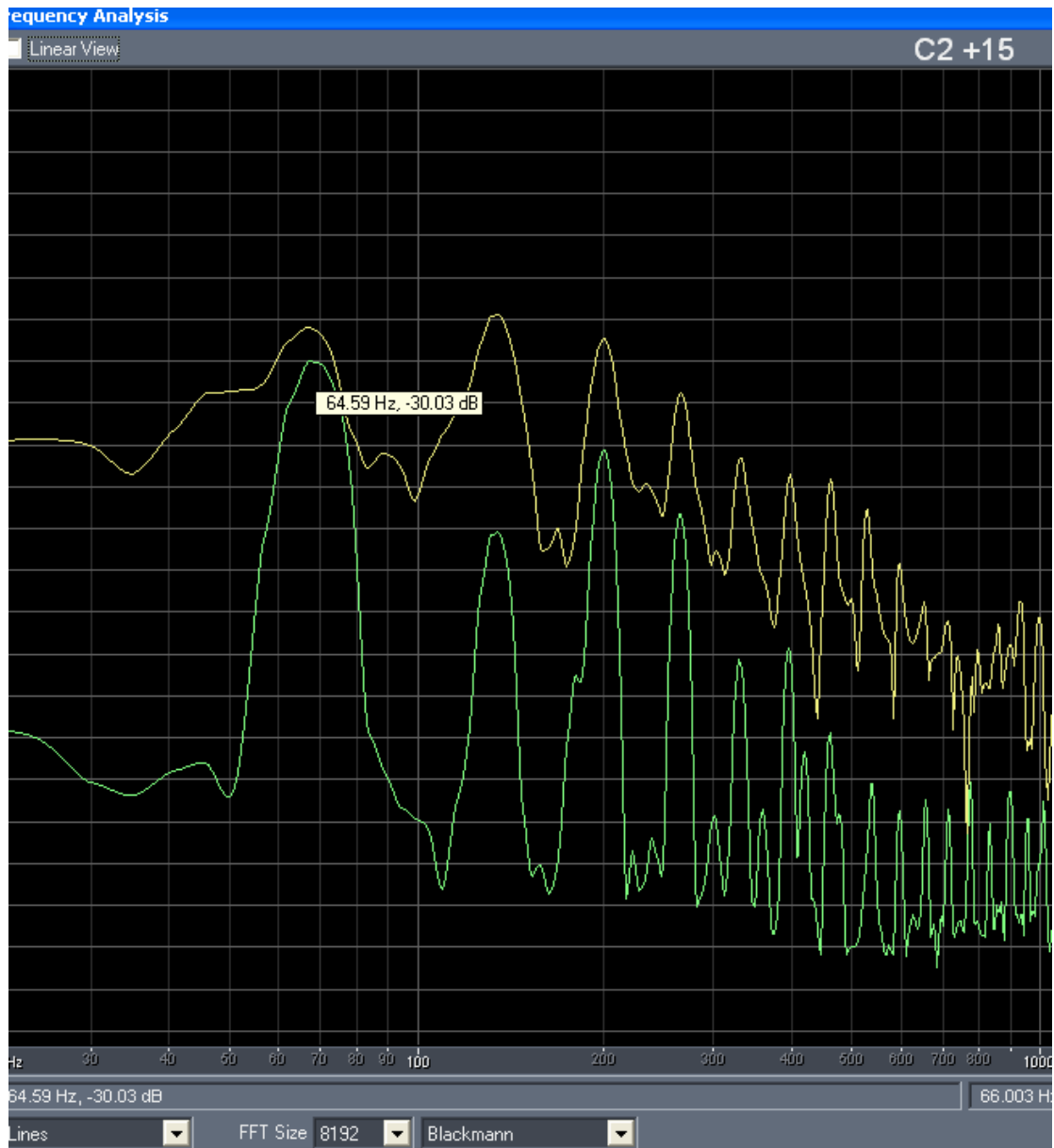


Fig 32: "MI" de la tercera cuerda

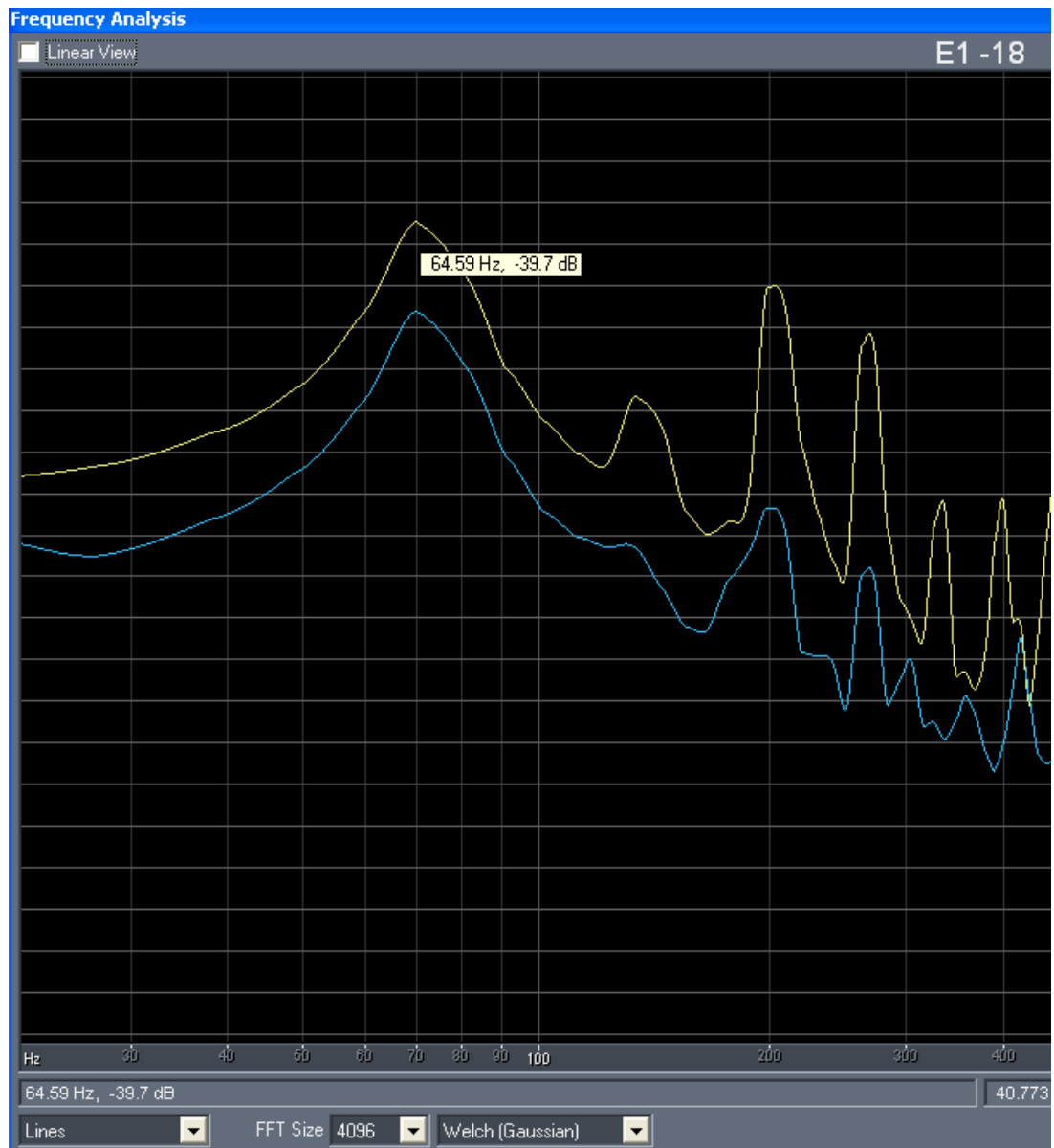


Fig 33: "Mi" segunda cuerda

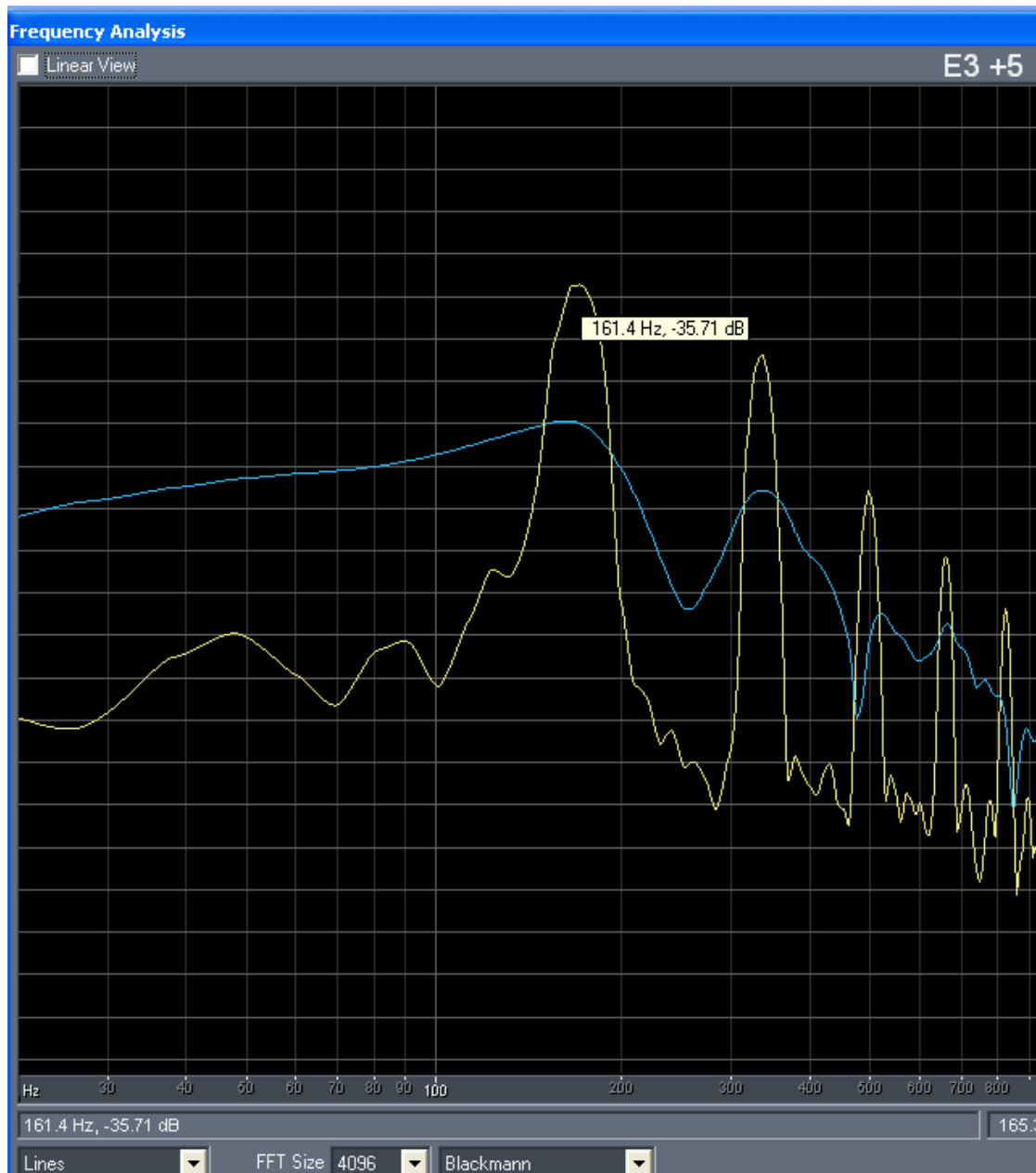
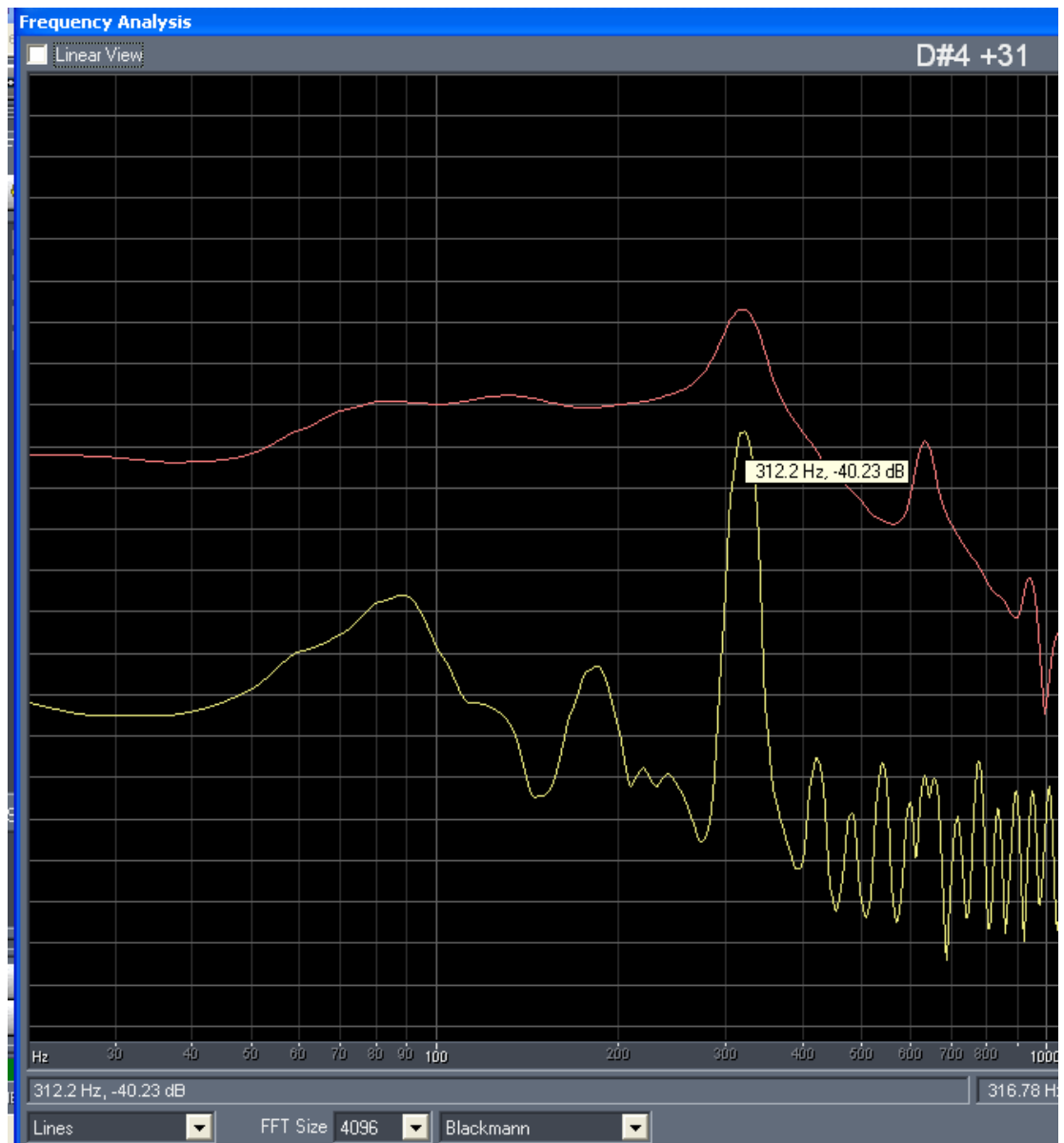


Fig 34: "D#" Re sostenido primera cuerda ultima nota del instrumento



Después de realizar el análisis de estas cinco graficas se concluye que para las frecuencias bajas es común encontrar que sus armónicos llegan a tener mayor amplitud que la frecuencia fundamental, haciendo que su primer pico no sea el de mayor amplitud y dificultando la obtención de su fundamental, y que por el contrario para las frecuencias altas, se definan de manera un poco mas clara estos dos componentes, indicando además, el primer pico como la fundamental por encima de sus armónicos siguientes.

Esto determinara de manera sustancial el método de filtrado de frecuencia con el cual se debe trabajar en el software matemático, ya que este proceso debe diferenciar entre los armónicos y la fundamental para tomar solamente la información de esta ultima, que en algunos casos como se vio en la Fig 30 y ya se menciono con anterioridad, en la nota “Mi” para la cuarta cuerda no siempre es el primer pico el que tiene mayor amplitud.

4.2 DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE EL INSTRUMENTO Y EL ALGORITMO MATEMÁTICO.

El bajo eléctrico está construido de manera similar que una guitarra eléctrica. Dispone de una base sólida (puente), en la que están fijados uno de los extremos de las cuerdas. Debajo de las cuerdas se encuentran unas pastillas electromagnéticas (cápsulas o micrófonos), que captan la vibración de las cuerdas, la traducen a una señal eléctrica y la envían a través de la línea (cable) al amplificador o a los altavoces. Según el modelo, posee unas perillas giratorias (potenciómetros) que sirven para ajustar el volumen general o de cada cápsula, el nivel de graves, medios y/o agudos (también llamado tono -en inglés *tone*-), y para controlar efectos que se le puedan aplicar.²⁰

²⁰ [www.es.wikipedia.org/wiki/Bajo_\(instrumento_musical\)](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Bajo_(instrumento_musical))

Una pastilla se ocupa de transformar la vibración de las cuerdas en impulsos eléctricos usando el principio de inducción electromagnética. La pastilla se compone de un imán (núcleo) que refuerza la corriente inducida en la pastilla y un bobinado. Mediante la técnica de doble imán (colocando dos imanes con sus bobinas por cuerda) se consigue cancelar el ruido de fondo que pueden provocar otros aparatos electrónicos.



Fig: 35 Pastillas o Micrófonos "Single Coil" en un Bajo tipo Jazz Bass

- Pastillas electromagnéticas

Están formadas por un imán permanente rodeadas por un bobinado de alambre de cobre. Cuando un cuerpo metálico ferromagnético se mueve dentro del campo magnético del imán permanente se provoca una corriente inducida en el bobinado proporcional a la amplitud del movimiento y de frecuencia igual a la de la oscilación del cuerpo. Esta corriente es muy débil por lo que el cableado del interior del instrumento así como el cableado hasta la amplificación debe estar muy bien apantallado para evitar ruidos parásitos.

El voltaje de salida de las pastillas varia entre 100 mV rms hasta 1 V rms en algunos modelos. Algunas pastillas de alta señal consiguen un nivel de salida tan alto utilizando imanes muy potentes, que producen más flujo magnético y por lo tanto una salida mayor. Esto puede ser perjudicial para la calidad del sonido porque los imanes tienden a atraer las cuerdas, lo cual hace que su amplitud decrezca demasiado rápido (el sonido se apague pronto). Otras pastillas de alta señal tienen una bobina con más espiras. Sin embargo, esto aumenta la impedancia de salida, lo cual puede afectar a las frecuencias altas si la pastilla no se aísla con un *amplificador-seguidor* (buffer).

Al comienzo de la investigación y según lo estipulado en el objetivo específico numero cuatro (Construir un dispositivo ergonómico y funcional al instrumento musical propuesto) se asumía previsto vincular al instrumento musical con el dispositivo conversor a manera de cuerda individual. Esto hace referencia a manipular la señal independiente proveniente de cada cuerda por medio de transductores autónomos para ser filtrada de la misma manera y así enviar una variación de voltaje independiente para cada segmento de filtración.

Posterior a la realización de las pruebas para la vinculación del instrumento musical resulta conveniente vincular al instrumento, no con la señal independiente proveniente de cada una de las cuatro cuerdas, sino con la salida de voltaje de línea que se sintetiza tras el proceso de conexión interna del instrumento eléctrico

para consecutivamente ser relacionada con el algoritmo matemático por medio de la salida de voltaje variado de plug de $\frac{1}{4}$, enlazada con la tarjeta de sonido del computador, en el cual se fuese a implementar la programación del algoritmo matemático.

4.3 DESARROLLO DEL ALGORITMO DE FILTRADO E IDENTIFICACIÓN DE FRECUENCIA EN LA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN MATEMÁTICA MATLAB Y SU APLICACIÓN SIMULINK.

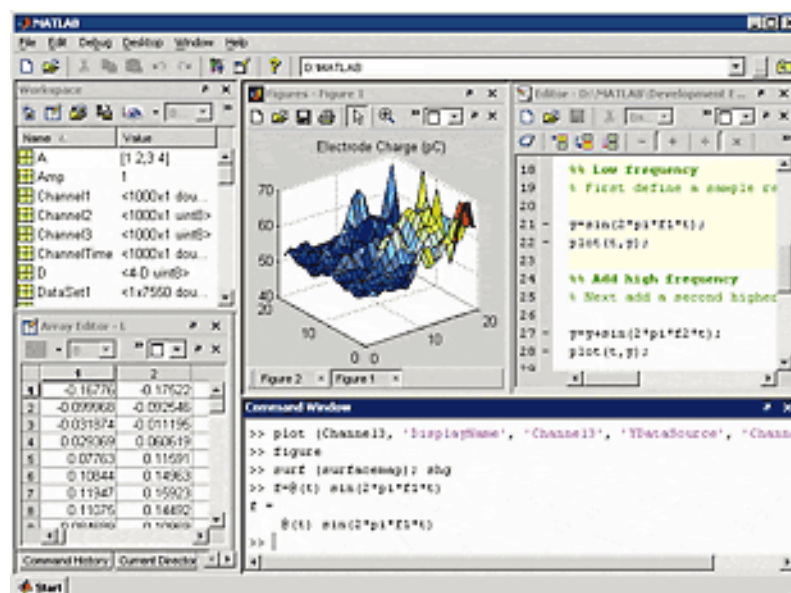


Fig 37: Entorno De Trabajo De MATLAB

Para la vinculación de la señal de voltaje de entrada del instrumento musical se hace obvio que MATLAB es una plataforma eficiente para acceder a datos de archivos, bases de datos y dispositivos externos. Puede leer datos guardados de archivos de imagen, sonido y vídeo, Puede llamar a otras aplicaciones y lenguajes, tales como C, C++, objetos COM, DLLs, Java, FORTRAN. Utilizando el Database Toolbox, lo que para el desarrollo de este proyecto resulta interesante debido a que para la vinculación del algoritmo matemático con el programa de

producción musical, se necesita de la interpretación de otro lenguaje de programación como lo es el C++ en el lenguaje de programación de MATLAB.

Se encuentra como un aspecto interesante para el desarrollo de este proyecto que la herramienta de programación MATLAB pueda obtener datos de dispositivos de hardware, tales como el puerto serie de un ordenador o una tarjeta de sonido. Utilizando el Data Acquisition Toolbox, con el cual se obtuvo capturar y redirigir la información a los medidos de trabajo de MATLAB para su análisis, procesamiento y posterior visualización en tiempo real.

Para la implementación de la programación de una manera mas didáctica y practica para los estudiantes se tuvo en cuenta la aplicación **SIMULINK**, la cual es un paquete de Software que se ejecuta acompañando a MATLAB para modelar, simular y analizar sistemas dinámicos, esta que a su vez Funciona sobre MATLAB, es decir, para iniciar SIMULINK es necesario entrar antes en MATLAB. Ambos programas están desarrollados y comercializados por *The MathWorks, Inc.* SIMULINK es soportado en sistemas Windows, Unix o Macintosh lo cual la hace aplicable en cualquier programa de producción musical que intervienen para este tipo de plataformas.

Simulink tiene dos fases de uso: la definición del modelo y el análisis del modelo. La definición del modelo significa construir el modelo a partir de elementos básicos contruidos previamente, tal como, integradores, bloques de ganancia etc... El análisis del modelo significa realizar la simulación, linealización y determinar el punto de equilibrio de un modelo previamente definido.

Posee una **interfaz de usuario gráfica (GUI)**, con diagramas de bloques para construir los modelos utilizando operaciones con el ratón del tipo pulsar y arrastrar lo que para el caso del este trabajo investigativo resulta interesante ya que simplemente seria necesario una caja de adquisición de datos, un blque de

procesamiento, un bloque de interpretación de la salida del dispositivo conversor y tal vez un display de visualización de los datos antes de la comunicación con el software de producción musical.

Después de esta breve descripción y con una conexión completamente establecida entre el instrumento musical y el software de programación se procede a la realización del código.

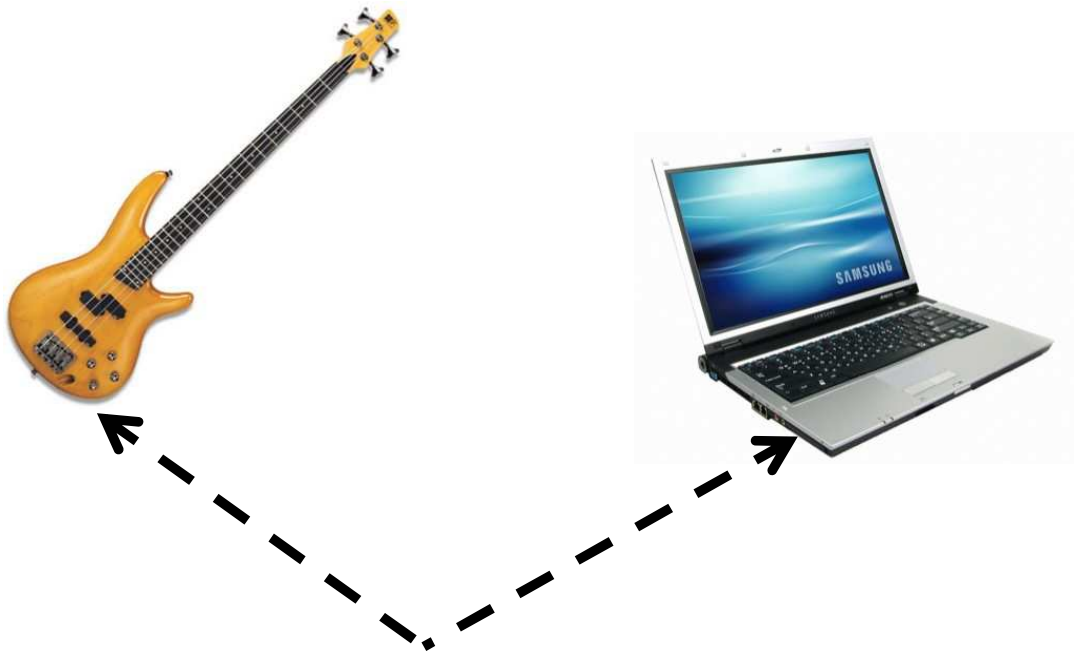


Fig 38: vinculación instrumento y laptop

I. BASS2MIDI

Como el algoritmo se desarrollará en SIMULINK se creará una función que realice la conversión para luego ser llamada desde simulink. Posteriormente y luego de tener el primer bloque que vincule el algoritmo con la tarjeta de sonido (windsound), se llamará esta función la cual se ha denominado BASS2MIDI.

This file uses Cell Mode. For information, see the [rapid code iteration](#) video, the [publishing](#) video, or [help](#).

```

1  +function bass2midi(block) ...
34 +function setup(block) ...
95 +function DoPostPropSetup(block) ...
112 +function InitializeConditions(block) ...
125 +function Start(block) ...
138 +function Outputs(block) ...
195
196 % No new message, turn off old one
197 +function new = setOldMsgOff(prev) ...
218 +function Update(block) ...
231 +function Derivatives(block) ...
241 function Terminate(block)
242
243 %end Terminate
244
245

```

Fig. 39 Configuraron del BASS2MIDI

- Configuración de Bloques (bass2midi (block))

```

%MSFUNTMPL_BASIC A template for a Leve-2 M-file S-function
% The M-file S-function is written as a MATLAB function with the
% same name as the S-function. Replace 'msfuntmpl_basic' with the
% name of your S-function.
%
% It should be noted that the M-file S-function is very similar
% to Level-2 C-Mex S-functions. You should be able to get more
% information for each of the block methods by referring to the
% documentation for C-Mex S-functions.
%
% Copyright 2003-2007 The MathWorks, Inc.

%%
%% The setup method is used to setup the basic attributes of the
%% S-function such as ports, parameters, etc. Do not add any other
%% calls to the main body of the function.
%%
setup(block);

%endfunction

%% Function: setup =====

```

```

%% Abstract:
%% Set up the S-function block's basic characteristics such as:
%% - Input ports
%% - Output ports
%% - Dialog parameters
%% - Options
%%
%% Required : Yes
%% C-Mex counterpart: mdlInitializeSizes

```

En esta primera instancia se llama la configuración de del bloque, lo que se denota como SETUP (BLOCK). En este, se indican las características básicas que tendrá este tipo de bloque. *(Para explicarlo de manera clara En MATLAB se denotan los mensajes de programa en color verde.)*.

La información de entrada de este viene directamente del windsound. Como ya se menciono anteriormente el windsound es el bloque que vincula simulink con la tarjeta de sonido.

II. `function` setup(block)

```

% Register number of ports
block.NumInputPorts = 1;
block.NumOutputPorts = 1;

% Setup port properties to be inherited or dynamic
block.SetPreCompInpPortInfoToDynamic;
block.SetPreCompOutPortInfoToDynamic;

% Override input port properties
block.InputPort(1).Dimensions = [4096 1];
block.InputPort(1).DatatypeID = 0; % double
block.InputPort(1).Complexity = 'Real';
block.InputPort(1).DirectFeedthrough = true;
block.InputPort(1).SamplingMode = 'Frame';

% Override output ports properties
block.OutputPort(1).Dimensions = [3 1];
block.OutputPort(1).DatatypeID = 0; % double
block.OutputPort(1).Complexity = 'Real';
block.OutputPort(1).SamplingMode = 'Frame';

```

```

% Register parameters
block.NumDialogPrms = 0;

% Register sample times
% [0 offset]           : Continuous sample time
% [positive_num offset] : Discrete sample time
%
% [-1, 0]              : Inherited sample time
% [-2, 0]              : Variable sample time
block.SampleTimes = [-1 0];

%% -----
%% The M-file S-function uses an internal registry for all
%% block methods. You should register all relevant methods
%% (optional and required) as illustrated below. You may choose
%% any suitable name for the methods and implement these methods
%% as local functions within the same file. See the the comments
%% provided for each function for more information.
%% -----

block.RegBlockMethod('PostPropagationSetup', @DoPostPropSetup);
block.RegBlockMethod('InitializeConditions', @InitializeConditions);
% block.RegBlockMethod('Start', @Start);
block.RegBlockMethod('Outputs', @Outputs); % Required
block.RegBlockMethod('SetInputPortSamplingMode', @InputSamplingMode);
% block.RegBlockMethod('Update', @Update);
% block.RegBlockMethod('Derivatives', @Derivatives);
% block.RegBlockMethod('Terminate', @Terminate); % Required

%end setup

%%
%% PostPropagationSetup:
%%   Functionality      : Setup work areas and state variables. Can
%%                       also register run-time methods here
%%   Required           : No
%%   C-Mex counterpart: mdlSetWorkWidths
%%
Cuando se llame la función bass2midi simplemente se va a ejecutar este setup.

```

En el setup del algoritmo se especifican los diferentes tipos de variables que lo componen, como ejemplo evidente, cuantas entradas tiene el dispositivo, que dimensiones tienen las entradas, tipo numérico, complejidad si es real o complejo y modo de sampleo entre otras como se muestra a continuación:

En esta primera parte (`% Register number of ports`) se denota que la función tendrá un solo puerto de entrada y un solo puerto de salida.

En la segunda parte elemental (`% Override input port properties`) se especifican como ya se mencionaron previamente las dimensiones de la entrada, que son 4096 bloques por 1 (uno) de entrada. Esto hace referencia a un vector columna el cual indica, que la entrada es una columna de 4096 filas. También se especifica (`block.OutputPort(1).Dimensions = [3 1]`) en esta parte que el vector salida es una columna de 3 filas lo que determinará los tres bytes de información que necesita el MIDI para su comunicación los cuales mostraran la nota, el estado y la velocidad. En este setup también se define (`block.InputPort(1).Complexity = 'Real'`) si la variable de entrada es real o compleja, que en este caso seria real, y ,el modo de sampleo (`block.InputPort(1).SamplingMode = 'Frame'`;) que hace referencia a que las operaciones no se van a realizar con cada bit que se recibe sino con cada cierta cantidad de bits; en este caso cada 4096 se realizara la operación.

Cada bloque de programación de simulink tiene una serie de parámetros de entrada que se pueden modificar, lo que para el caso de este dispositivo conversor no será posible, de esta manera no se podra modificar ningún dato desde simulink. La edición de este parámetro de entrada se realiza en:

```
% Register parameters
block.NumDialogPrms = 0;
```

El siguiente paso para la programación del setup es definir y registrar los callback. Los callbacks son funciones que se ejecutan ante un evento específico. Para proporcionar un ejemplo conciso, cuando se aplica click con el mouse en el botón de play de simulink el ejecuta la función output.

```

block.RegBlockMethod('PostPropagationSetup', @DoPostPropSetup);
block.RegBlockMethod('InitializeConditions', @InitializeConditions);
% block.RegBlockMethod('Start', @Start);
block.RegBlockMethod('Outputs', @Outputs); % Required
block.RegBlockMethod('SetInputPortSamplingMode', @InputSamplingMode);
% block.RegBlockMethod('Update', @Update);
% block.RegBlockMethod('Derivatives', @Derivatives);
% block.RegBlockMethod('Terminate', @Terminate); % Required

```

III. `function` DoPostPropSetup(block)

Este (DoPostPropSetup) es el callback que se llama después que el bloque a sido seteado, después del setup.

```

block.NumDworks = 1;

block.Dwork(1).Name          = 'prevNote';
block.Dwork(1).Dimensions    = 3;
block.Dwork(1).DatatypeID    = 0; % double
block.Dwork(1).Complexity    = 'Real'; % real

%%
%% InitializeConditions:
%%   Functionality      : Called at the start of simulation and if it is
%%                         present in an enabled subsystem configured to
reset                         states, it will be called when the enabled
%%                         subsystem
%%                         restarts execution to reset the states.
%%   Required           : No
%%   C-MEX counterpart: mdlInitializeConditions
%%

```

Otro aspecto importante que se debe tener en cuenta para la elaboración del algoritmo es el Dwork. Que no es algo diferente a una forma que asume simulink para operar las variables persistentes.

Antes de definir que es una variable persistente se debe recordar que una función una vez termina de ejecutarse borra todas sus variables, por esta razón se hace necesario definir una variable persistente con anterioridad, la cual será una variable que no se eliminará, y esta a su vez persistira en el tiempo. La única manera de eliminarla será manualmente.

Por consiguiente, Dwork son las variables persistentes, que hacen que la variable block, se vea además como una estructura que dentro de si tiene todas las demás variables que se van tratar.

(block.NumDworks = 1;) De esta manera se define cuantas variables persistentes estamos definiendo. Que para este caso solamente seria una, y se dice que la información que se va a almacenar seria la de la nota anterior que el intérprete ejecutase.

Seguidamente se procede con las características del bloque como lo son nombre, dimensiones, data type y complexity de la siguiente manera:

```
block.Dwork(1).Name          = 'prevNote';
block.Dwork(1).Dimensions    = 3;
block.Dwork(1).DatatypeID    = 0;          % double
block.Dwork(1).Complexity    = 'Real'; % real
```

De esta manera y finalmente se define la variable persistente.

Como se puede observar y de manera resumida, todos los collbaks que se han nombrado reciben como parámetro de entrada block, que es en donde se han acumulado todas las variables que son necesarias, por lo que se podría decir que es una variable con sub-variables.

IV. `function` InitializeConditions(block)

```
block.Dwork(1).Data = [hex2dec(['8' '0']) 0 0];
%end InitializeConditions
```

```
%%
%% Start:
%%   Functionality : Called once at start of model execution. If you
%%                   have states that should be initialized once, this
%%                   is the place to do it.
```

```
%% Required      : No
%% C-MEX counterpart: mdlStart
%%
```

Esta es la línea de código con la cual se le otorgan valores a la variable persistente y se inicializa.

En este caso los valores serán (['8' '0']) 0 0];

'8' estatus 8 (que significa nota apagada)

'0' (numero del canal MIDI) recordando que MIDI tiene de 16 canales de comunicación.

0 0]; (Que significa la nota y la velocidad) es decir nota cero y velocidad cero

Todo esto se encuentra dentro de hex2dec y de esta manera se inicializa la variable la cual necesita simplemente de un valor inicial para activarse.

V. `function` Start(block)

```
block.Dwork(1).Data = [hex2dec(['8' '0']) 0 0];
```

```
%endfunction
```

```
%%
%% Outputs:
%%   Functionality      : Called to generate block outputs in
%%                       simulation step
%%   Required           : Yes
%%   C-MEX counterpart: mdlOutputs
%%
```

Este callback que se muestra nuevamente recibe a la entrada el parámetro block, esto significa que cada vez que se aplique el botón de play (Start) del SIMULINK el va a ejecutar esta función, que como se puede ver hace la misma función del callback anterior ya que se necesita resetear o inicializar la variable cada vez que se vuelva a ejecutar el software.

4.4 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SEÑAL DE ENTRADA RECIBIDA POR EL ALGORITMO MATEMÁTICO.

VI. `function` Outputs(block)

Este callback quizás es uno de los más importantes, este es el procesamiento que se va a ejecutar por cada bloque de información (4096 samples) que se recibe. En este caso cada 4096 samples que entren al bloque el ejecuta outputs, que es el procesamiento que se logra finalmente.

En primera instancia no se realiza otra operación diferente a leer la variable persistente, la cual es la nota anterior, y se muestra con la siguiente línea de código.

```
Get previous note
prev.status = block.Dwork(1).Data(1);
prev.note = block.Dwork(1).Data(2);
prev.velocity = block.Dwork(1).Data(3);
```

Con la siguiente función se leen los 4096 puntos que acaban de entrar

```
Get input data
x = block.InputPort(1).Data;
```

Luego con la función posterior se inicializan las variables que se necesitan para ejecutar el software.

```
%Initialize local variables
tmp = dec2hex(prev.status);
minPeak = 0.7;
prev.action = hex2dec(tmp(1));
midiChan = hex2dec(tmp(2));
fs = 44100;
sensitivity = -42;
refFreq = 440;
ln = block.InputPort(1).Dimensions(1);
```

En esta instancia se hace referencia al principio básico de funcionamiento del algoritmo para la detección de frecuencias fundamentales con contenido armónico

importante. Esta es la autocorrelacion normalizada por coeficiente y se aplica bajo el siguiente criterio.

```
% Perform coefficient normalized autocorrelation
[xCorr lags] = xcorr(x, 'coeff');
```

Al comparar una señal con si misma en el tiempo (que es la autocorrelacion*) e independientemente de los componentes espectrales que esta tenga, y si esta es una señal periódica, la autocorrelacion arrojará el periodo principal de la señal que se esta analizando. Este proceso dará como resultado la frecuencia fundamental independientemente de si sus armónicos tienen mayor cantidad de contenido energético lo que de inmediato solucionaría el problema que se expuso con anterioridad**.

Después de esto se indica el numero de picos que se van a identificar y desde que punto se desean identificar (la mínima altura) en la autocorrelacion.

```
Identify peak
[pk pkInd] = findpeaks(xCorr(1n:end), ...
    'npeaks' , 1 , ...
    'minpeakheight' , minPeak);
```

En las siguientes líneas de código Se evalúa si encontró algún pico

```
if isempty(pk)
    prev = setOldMsgOff(prev);
    block.OutputPort(1).Data = [prev.status; prev.note; prev.velocity];
    block.Dwork(1).Data = [prev.status; prev.note; prev.velocity];
    return
end
```

Esto significa que si no se encontró ningún pico (pk) se va a apagar el mensaje anterior y se va a enviar por el puerto numero uno el mensaje que la nota anterior

* Ver, Marco teórico. Pág. 69.

** Ver, desarrollo ingenieril 4.1. exploración de rango de frecuencia del instrumento

a sido apagada, para luego como se especifica en la siguiente línea almacenarla en la variable persistente.

Por ultimo “return” que significa interrumpir la función.

Después de esto se halla la frecuencia y su equivalencia en nota MIDI, para esto se implementan ecuaciones preestablecidas que se muestran a continuación.

```
Find frequency and MIDI equivalent note
freq = fs/(pkInd - 1);
note = -round(12*log2(refFreq/freq) - 69);
```

En donde se entiende para la frecuencia (primera linea) que fs es la frecuencia de sampleo y el pkInd que se encontró previamente, y es el índice o posición donde encontró el pico la autocorrelacion.

Y para la nota (NOTE) el refFreq que es la frecuencia de referencia, que para este caso es de 440 Hz .

Luego de esto se calcula el valor rms de la señal que se adquirio y lo vamos a convertir decibeles dBrms, para posteriormente interpretar esta variación de voltaje de entrada como la velocidad MIDI, como se muestra en las siguientes lineas de codigo.

```
% Estimate rms value in decibels and convert to MIDI velocity
dBrms = 2*unit2db(sqrt(sum(x.^2)/ln), 1/sqrt(2));
velocity = round(-(127/sensitivity)*(dBrms - sensitivity));
```

También se denota que en la ecuación de velocity esta incluida la variable sensitivity que hace referencia a que en una señal por debajo de -42dBrms la velocidad será cero.

Después de hallar estos valores procedemos a realizar las siguientes líneas de código condicionales:

```
% Set message status and send message
if note > 127 || note < 0 || velocity < 0
    prev = setOldMsgOff(prev);
    block.Dwork(1).Data = [prev.status; prev.note; prev.velocity];
    return
elseif note == prev.note && prev.action ~= 8
    status = hex2dec(['A' num2str(midiChan)]);
    block.OutputPort(1).Data = [status; note; velocity];
else
    prev = setOldMsgOff(prev);
    status = hex2dec(['9' num2str(midiChan)]);
    block.OutputPort(1).Data = [status; note; velocity];
end
```

En estas líneas se indica en primera instancia que si la nota es mayor a 127, ó, la nota es menor que cero, ó, la velocidad es cero, significa que hallo una nota errada. Esto debido a que si la nota es mayor que 127 ó menor que cero es una frecuencia que no debe interesar, y si la velocidad es menor que cero quiere decir que no alcanza a cumplir con los -42dB de sensibilidad que se establecieron previamente.

Si esto se cumple, seguidamente se ordena que se apague la nota anterior y se acumule en la variable persistente como se muestra a continuación.

```
if note > 127 || note < 0 || velocity < 0
    prev = setOldMsgOff(prev);
    block.Dwork(1).Data = [prev.status; prev.note; prev.velocity];
    return
```

Luego se debe especificar, que si el condicional anterior no se cumple se evaluará el siguiente que es: si la nota que se halla ahora es igual a la nota del segmento anterior y la acción anterior es diferente a ocho (8 significa apagado) se establecerá que el mensaje es un aftertouch* (A), como se indica en la siguiente línea.

```
elseif note == prev.note && prev.action ~= 8
    status = hex2dec(['A' num2str(midiChan)]);
    block.OutputPort(1).Data = [status; note; velocity];
```

Después de esto se impone una excepción que expresa: si los dos condicionales anteriores no se cumplen, esto quiere decir, que si la nota anterior no es inválida o la nota no es igual a la nota anterior, se apagará la nota anterior y se va a enviar la nota nueva por el puerto uno diciendo que ha sido encendida (9) como se muestra a continuación.

```
else
    prev = setOldMsgOff(prev);
    status = hex2dec(['9' num2str(midiChan)]);
    block.OutputPort(1).Data = [status; note; velocity];
```

Finalmente se guarda toda la información de la nota que se encontró en este segmento, en la variable persistente, para que este disponible en el próximo segmento como la variable previa.

```
Save previous MIDI note
block.Dwork(1).Data = [status; note; velocity];
```

VII. `function` new = setOldMsgOff(prev)

Esta función que se implementaba cuando se decidía apagar una nota, y como apagar una nota era un procedimiento bastante usual se denota como una función de la siguiente forma.

```
switch prev.action
    case 8
        % Note off
    case {9 10}
        prev.status = hex2dec(['8' num2str(0)]);
        block.OutputPort(1).Data = [prev.status; prev.note; 64];
    otherwise
```

```

        error ('Wrong MIDI status byte!')
    end
    new = prev;

%end Outputs

```

En donde inicialmente dice (`switch prev.action`) evalúa la acción anterior. En caso de ser 8, no realice ninguna acción y en caso de ser 9 o 10 vas a apagarla y se va a enviar este nuevo mensaje por el puerto de salida numero uno.

4.5 SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO DE SEÑAL.

En la actualidad se cuenta con múltiples alternativas de software para la realización de prácticas de simulación de procesamiento de señales, que proporcionan gran cantidad de funciones y algoritmos. Pese a las ventajas de estos tipos de herramientas se presentan una carencia importante en la simulación que la aleja de la situación real cuando estas las exigen, ya que la ejecución de las mismas tiene lugar en entornos controlados o simulados, con señales en general preprocesadas y sin considerar restricciones temporales, saturaciones, otras no linealidades, etc.

Por esta razón, y advirtiendo la viabilidad funcional del proyecto; entendiendo de antemano que un DSP* se puede programar tanto en ensamblador físico como en C, ó ,como se ha visto en los últimos tiempos que existen otros fabricantes que están probando que sus aplicaciones programen igualmente Matlab y Labview, Se ha decidido para el proyecto, implementar cualquier computadora como dispositivo de procesamiento de señal digital junto al software matlab, ya que resultaría además de eficaz y practico para el fin de este, noblemente funcional para el tipo de población hacia el cual va dirigido esta investigación.

* Ver, Marco de referencia. Marco teórico. DSP Pág. 83

4.6 VINCULACIÓN DEL ALGORITMO CONVERSOR Y EL SOFTWARE DE PRODUCCIÓN MUSICAL.

Después de concluir que el DSP que se iba a implementar sería la computadora junto con el software MATLAB se procede a buscar la vinculación del algoritmo con un programa de producción musical.

Para la implementación de la comunicación entre los dos programas se descargó una librería de Internet en código C que fue interpretada para MATLAB y se muestra a continuación.

- SALIDA BÁSICA DE MIDI

```
#include "improv.h"

int main(void) {
    MidiOutput midi(0);
    midi.play(0, 60, 127);

    return 0;
}
```

- SELECCIÓN DE PUERTO DE SALIDA MIDI.

```
#include "improv.h"

int main(void) {
    MidiOutput midi;
    int portCount = midi.getNumPorts();
    for (int i=0; i<portCount; i++) {
        midi.setPort(i);
        midi.open();
        midi.play(0, 60, 127);
        cout << "Played a note on: "
              << midi.getName() << endl;
    }

    return 0;
}
```

```

#include "improv.h"

int main(void) {
    MidiOutput midi;
    int selection = -1;
    int portCount = midi.getNumPorts();

    for (int i=0; i<portCount; i++) {
        midi.setPort(i);
        cout << i << ":" << midi.getName() << endl;
    }
    cout << "Select an output port: ";
    cin >> selection;

    // play a note on the selected port:
    midi.setPort(selection);
    midi.open();
    midi.play(0, 60, 127);

    return 0;
}

```

Después de esto se interpreta este lenguaje de código C en Matlab procesado y comprimido en un código de MATLAB y seguidamente en un bloque de Simulink. Para luego ser interpretado y vinculado por el software de producción musical Reason. Por medio de un puerto MIDI virtual común como lo es el MIDIYOKE.

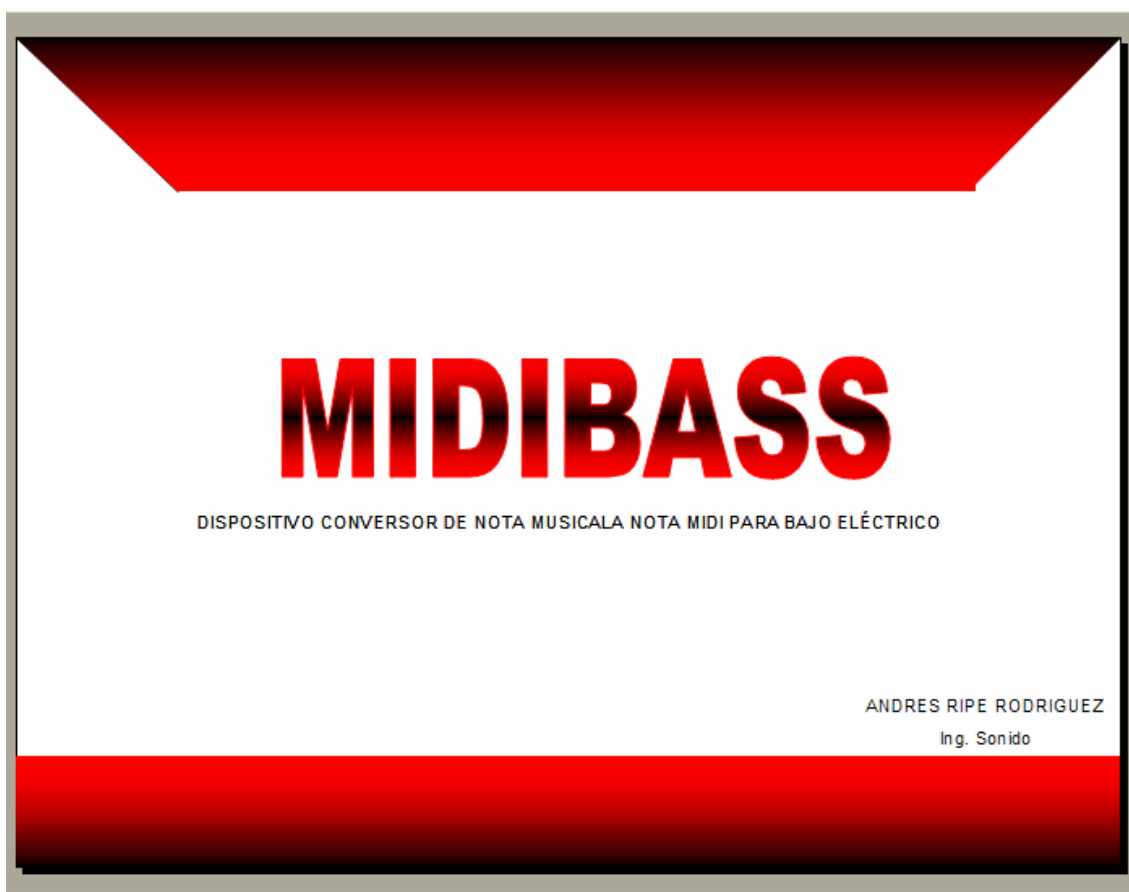
4.7 IMPLEMENTACION DIDÁCTICA DEL FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO CONVERSOR PARA EL CONOCIMIENTO POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERISIDAD DE SAN BUENAVENTURA.

Después de la investigación y el desarrollo del dispositivo de conversión de nota musical a nota MIDI, se interpreta la implementación de manera didáctica del conocimiento de este dispositivo conversor como un objetivo primordial a la hora de la elaboración de este proyecto. Para esto se expondrán de manera pública a todo el plantel educativo en especial a los estudiantes de ingeniería de sonido y electrónica, los archivos de funcionamiento del dispositivo conversor, y los códigos de edición de la plataforma de programación para su posterior modificación en miras a la mejora del dispositivo de conversión de nota musical a nota MIDI.

Esta información estará contenida en un paquete didáctico el cual recopilara los elementos necesarios de instalación, además de los pasos y requerimientos para que estos estudiantes o personas relacionadas con el medio de la producción de audio implementen de manera práctica en sus necesidades a la hora e realizar producciones musicales.

El paquete llevara por nombre MIDIBASS y estará compuesto por los siguientes elementos:

1. Estuche MIDIBASS



2. DVD de instalación de Matlab 2008a. con su aplicación simulink



MATLAB R2008a.Ink

3. CD de Archivo bass2midi de Matlab y ripeit de simulink



bass2midi.m



Ripeit.mdl

4. DVD de instalación de REASON 4 mas serial.



5. CD de instalación para el puerto MIDI virtual MIDIYOKE junto a la guía esquemática de funcionamiento e instalación del dispositivo y el documento de tesis como soporte.



MidiYokeSetup.msi



GUIA DE INSTALACION DE
MIDIBASS
Documento de Microsoft Word



TESIS FINAL RIPE
Documento de Microsoft Word
3.157 KB

4.8 PRESENTACIÓN DE INFORME DE LOS ELEMENTOS QUE INTERVINIERON EN EL PROYECTO

Teniendo como principio de funcionamiento del dispositivo que fuese un elemento practico para el usuario, se implementaron tres componentes básicos que cumplieran las funciones de conversión de nota musical a nota MIDI planteadas en un comienzo.

- Bajo eléctrico de 4 cuerdas



Fig 40: Bajo eléctrico de 4 cuerdas

El dispositivo conversor deberá funcionar para cualquier bajo eléctrico de 4 cuerdas debidamente afinado y octavado.

- Computador portátil COMPAQ V 2000



Fig 41: Computador portátil COMPAQ V 2000

Características:

- Tarjeta de Red
- Puerto USB
- Quemador
- Lector DVD
- Memoria RAM 256
- Disco Duro 40GB
- Procesador 300t SEMPRON
- Vel 1.733 MH2
- Modem 56.6 kbps

- Conexión Inalambrica (wireless)
- Windows XP
- GRABADOR CD Y LECTOR DE DVD/CD
- 2 Puertos USB

De esta manera se concluye que no es necesario una maquina de características avanzadas para poder cumplir con los propósitos del proyecto.

- Software de programación MATLAB.

MATLAB es un lenguaje de computación técnica de alto nivel y un entorno interactivo para desarrollo de algoritmos, visualización de datos, análisis de datos y cálculo numérico. Con MATLAB, podrá resolver problemas de cálculo técnico más rápidamente que con lenguajes de programación tradicionales, tales como C, C++ y FORTRAN.

Características principales

- Lenguaje de alto nivel para cálculo técnico
- Entorno de desarrollo para la gestión de código, archivos y datos
- Herramientas interactivas para exploración, diseño y resolución de problemas iterativos
- Funciones matemáticas para álgebra lineal, estadística, análisis de Fourier, filtraje, optimización e integración numérica
- Funciones gráficas bidimensionales y tridimensionales para visualización de datos
- Herramientas para crear interfaces gráficas de usuario personalizadas
- Funciones para integrar los algoritmos basados en MATLAB con aplicaciones y lenguajes externos, tales como C/C++, FORTRAN, Java, COM y Microsoft Excel.

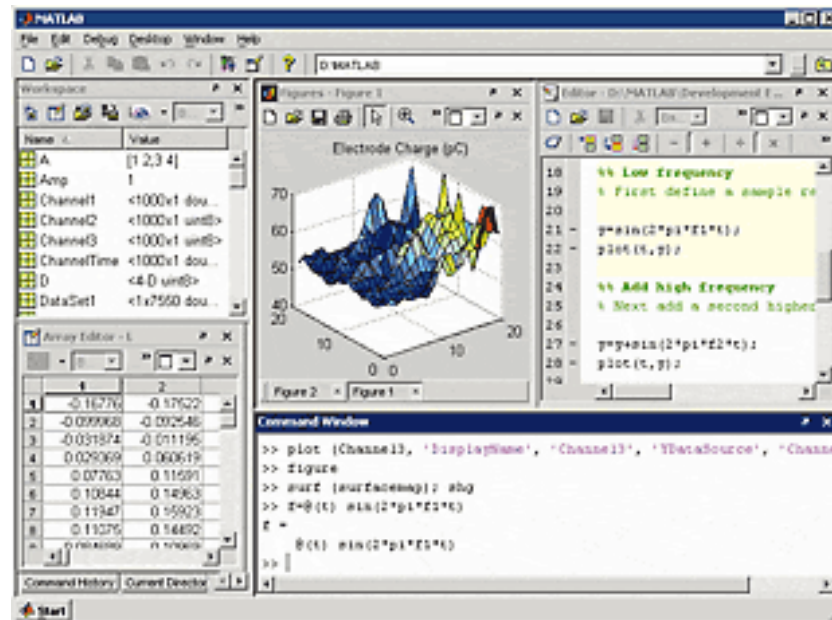


Fig 42 entorno de trabajo de matlab

5 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADO DE LA EXPLORACION DEL RANGO DE FRECUENCIA DEL INSTRUMENTO MUSICAL. (Bajo Eléctrico)

Por ejemplo, si se considera un objeto susceptible de vibrar como una cuerda de un bajo y se analizan las ondas emitidas por este, su frecuencia fundamental coincide con la frecuencia más baja en que esta cuerda puede vibrar estacionariamente. Cualquier sonido sostenido de esta cuerda podrá ser descompuesto como superposición de una vibración de frecuencia fundamental y armónicos superiores, es decir, vibraciones de frecuencias más altas que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Si se interpreta una nota al aire en cualquier cuerda del bajo a la altura del traste nº11, es decir la mitad de la cuerda, ésta vibrará mayormente en su frecuencia fundamental como se pudo observar en las graficas del punto 4.1 en desarrollo ingenieríl. A medida que se interpreta y se desplaza hacia uno de los extremos, la cuerda empezará a vibrar con más amplitud en frecuencias superiores y se escuchará un sonido más brillante, debido a las frecuencias más altas. Si se apoya un dedo suavemente en el medio de la cuerda y se interpreta una nota sobre el cuarto de la cuerda, se estará apagando la primera frecuencia y se escuchará la segunda sobre las demás y su frecuencia de vibración será la misma que tocar la nota una octava superior

Al explorar y analizar el rango de frecuencias del instrumento musical se pudo observar que existen diferentes clase de longitudes ondas según su comportamiento en frecuencia, y además, que estas variaban la posición del pico de su frecuencia fundamental a mediada que se movían en el espectro de frecuencia del instrumento dificultando la identificación de esta misma. Generando

esto, que un barrido de frecuencias o una identificación de un primer pico como frecuencia fundamental, fuesen insuficientes para la detección de la nota de interpretación y arrojando como resultado que solamente la autocorrelacion logre este proceso de detección.

Como se menciona de antemano en el marco teórico el bajo eléctrico encuentra su respuesta en frecuencia entre 40 y 300Hz como aparece en la tabla*. De esta manera se analiza que el vector columna de entrada (4096 en este caso) que necesitan este tipo de ondas debe ser mayor a el de cualquier instrumento de cuerda, por su respuesta en frecuencias bajas necesita mayor cantidad de puntos para leerse con claridad y lograr capturar más información.

Gracias a esto y según las pruebas que se realizaron se analiza que el dispositivo funcionaria igualmente para una guitarra y solamente necesitaría 2048 muestras gracias a la longitud de onda (es más corta) de las frecuencias que este instrumento posee.

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADO PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE EL INSTRUMENTO Y EL ALGORITMO MATEMÁTICO.

Examinando la viabilidad y la practicidad del dispositivo e investigando dispositivos anteriores como las pastillas MIDI Gk2 de Roland se analiza que estos dispositivos independientes se hacen exclusivos y dependientes de un elemento externo que no toda la población a la que va dirigido este proyecto podría tener. Además de hacerlo exclusivo solamente para guitarra.

* ver. Desarrollo ingenieril Pág. 95



Fig 43 Roland GK 2A

Por esta razón se decidió vincular el bajo eléctrico directamente con la computadora por medio de la tarjeta de sonido desde la salida de plug del instrumento la cual genera una variación de voltaje de -1 a 1v que es lo necesario para reconocer (según esta variación) que tipo de señal esta entrando y además, que tipo de frecuencia esta interpretando el músico después de realizarse el proceso matemático, obviamente vinculándose con anterioridad como se muestra en la siguiente grafica con el dispositivo conversor por medio del Windsound de simulik en el que se especifica el tipo de entrada, a la tarjeta que esta sujeto y la cantidad de información que es necesario recopilar para lograr un análisis matemático optimo.

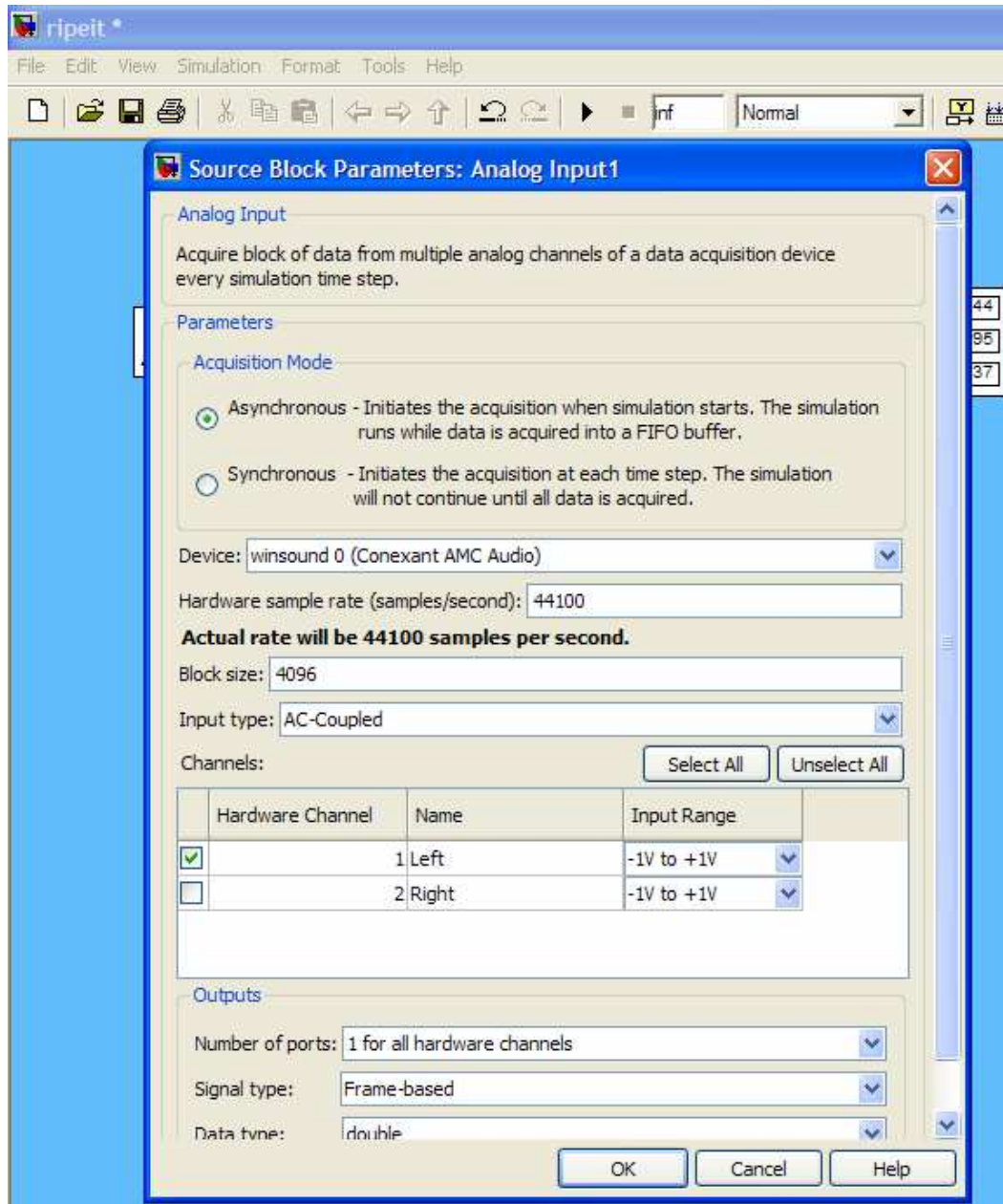


Fig 44: configuración del windsoud

5.3 ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL ALGORITMO DE FILTRADO E IDENTIFICACIÓN DE FRECUENCIA EN LA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN MATEMÁTICA MATLAB Y SU APLICACIÓN SIMULINK.

La función de autocorrelación resulta de gran utilidad para encontrar patrones repetitivos dentro de una señal, como por ejemplo, la periodicidad de una señal enmascarada bajo el ruido o para identificar la frecuencia fundamental de una señal que no contiene dicha componente, pero aparecen numerosas frecuencias armónicas de esta.

De esta definición se lograron obtener los resultados esperados ya que el algoritmo de conversión (basado en el principio de autocorrelación) que se muestra a continuación, identifica su frecuencia correctamente, diferenciándola de sus armónicos sin importar su longitud de onda o la posición de su frecuencia fundamental mediante el inicio de reconocimiento del código bass2midi.**

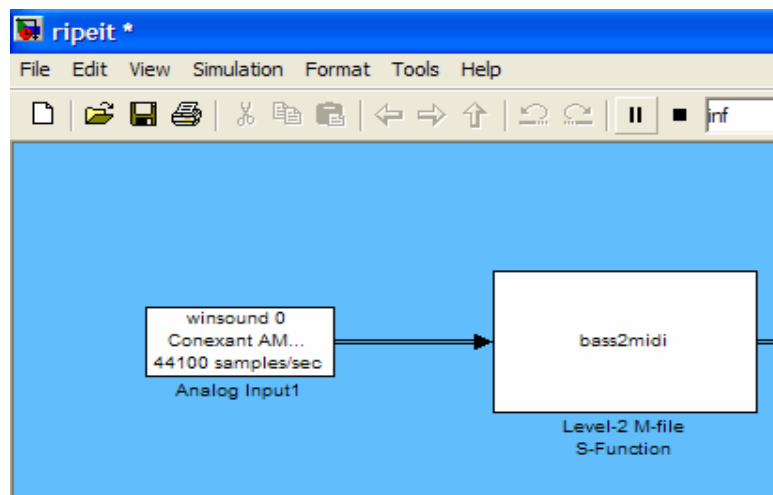


Fig 44: entorno del bass2midi en simulink

** ver. Desarrollo ingeniería Pág. 132

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SEÑAL DE ENTRADA RECIBIDA POR EL ALGORITMO MATEMÁTICO

Después de tener la información proveniente del instrumento almacenada correctamente producto del código de configuración de entrada de matlab almacenado en el bass2midi, se procedió a aplicar las ecuaciones que favorablemente se demostraron en el display de salida como se ve en la siguiente figura, el estado de la nota, el equivalente en numero de la nota midi y la velocidad con que esta se esta interpretando. Este display luego es remplazado por el bloque de comunicación de salida.

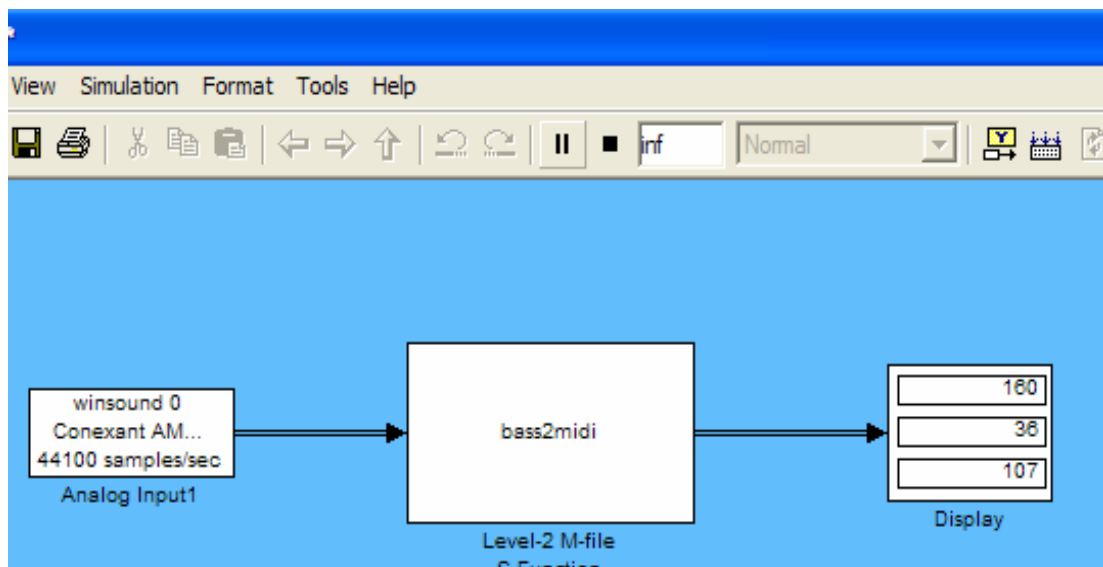


Fig 45: entorno del dispositivo conversor

La grafica # 45 muestra que la nota esta encendida, es la nota MIDI número 36 equivalentes a la nota musical C2** y tiene un velocity según la escala de 127 que se maneja en el MIDI, de 107 niveles.

5.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO DE SEÑAL.

El dispositivo se experimentó en dos computadoras de diferentes características y con tarjetas de sonido diferentes, arrojando los mismo resultados de procesamiento dando como consecuencia una homogeneidad en el acoplamiento del los parámetros, haciendo de este DSP el indicado para los resultados que se esperaban en nuestro trabajo de investigación.

Es de aclarar que entre mayor capacidad y velocidad de procesamiento tenga la computadora, mas se facilitaran los procesos a la hora de realizarlos. Sin embargo las características que necesitan el software de aplicación como MATLAB y REASON son los necesarios para que el algoritmo pueda desarrollarse correctamente. Así que esto será directamente proporcional a los resultados esperados.

** ver marco de referencia. marco teórico. Fig. 29 Pág. 113

5.6 ANÁLISIS DE LA VINCULACIÓN DEL ALGORITMO CONVERSOR Y EL SOFTWARE DE PRODUCCIÓN MUSICAL.

En cualquier instrumento controlador MIDI, en este caso par el bajo eléctrico, el dispositivo emite un mensaje Note On a través del puerto MIDI Out. Si el instrumento está configurado para transmitir por cualquiera de los 16 canales MIDI, el byte de estado del mensaje Note On indicará el número de canal seleccionado. Siguen a este byte de estado dos bytes de datos que especifican el número de tecla (indicando qué nota se ha pulsado) y el valor de velocidad de pulsación (Velocity) que indica lo fuerte que se ha pulsado la tecla. En este caso la información proveniente del instrumento electro-acústico se analizo matemáticamente y de acuerdo a las ecuaciones aplicadas se determino la frecuencia fundamental de cada interpretación y por consiguiente su equivalencia en nota MIDI, implementándose por obvias razones en el rango de frecuencias del instrumento, para este caso entre 40Hz y 300Hz aproximadamente, que en notas MIDI serian equivalentes a numero 28 en E1 (mi uno) y a un 63 en nota MIDI equivalente a D#4 (re sostenido cuatro). Lo que se registre por encima de estas notas hasta la ultima nota del MIDI y de igual manera por debajo de estas frecuencias hasta la mas baja percibida por el oído humano en A0 (numero MIDI 21) no son de interés para el desarrollo de este proyecto.

El resultado de la vinculación del algoritmo matemático con el software de producción musical mediante la codificación mencionada con anterioridad, arrojo por medio de el puerto MIDI virtual el enlace esperado con plataforma de la computadora para que este se comunicara satisfactoriamente, y de esta manera, lograr plasmar las interpretaciones que se venían ejecutando del instrumento musical en el software de producción musical REASON. Como se ve en la figura siguiente

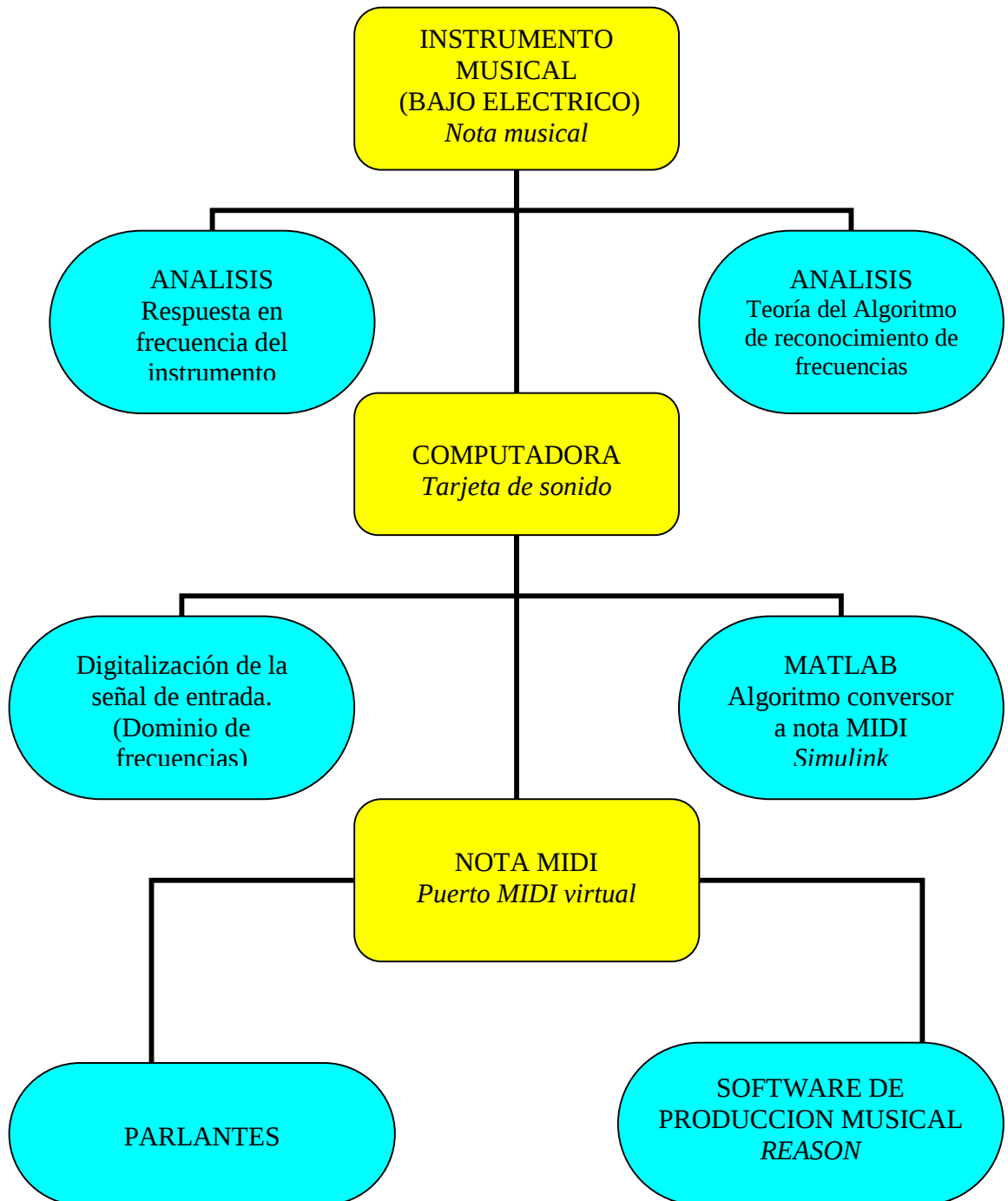


Fig 46: entorno de Reason y el dispositivo conversor



Fig 47: grabación mediante la interpretación del bajo y el dispositivo conversor

5.7 PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO FINAL.



El objetivo general de este proyecto era diseñar un dispositivo conversor de nota musical a nota MIDI para bajo eléctrico.

Para este propósito se realizó un estudio exhaustivo para la captura y detección de señales continuas, analizándolas con distintas clases de métodos matemáticos que lograron identificar la frecuencia fundamental de la señal proveniente del instrumento musical. Todo esto teniendo en cuenta la variabilidad de comportamiento de dichas señales de interpretación del instrumento, que hacen alterar su comportamiento junto con los armónicos de cada una de estas señales provenientes del instrumento musical, haciendo de la detección de la frecuencia fundamental un proceso complejo para el desarrollo del proyecto.

Para el proceso de filtración de frecuencias que se exponía en el objetivo específico número 1 la idea de realizar mediante un algoritmo matemático un filtro independiente para cada una de las 84 frecuencias del instrumento musical, lo que después de una investigación significativa y debido a que el proceso no funcionaría efectivamente por la complejidad y la individualidad de cada segmento de procesamiento, o si lo hiciera, sería un proceso ininteligible a la hora de su programación, se tuvo en cuenta la implementación de un algoritmo capaz de aunar las señales provenientes de cada una de las cuatro cuerdas y los 21 trastes, interpretando realmente la señal proveniente directamente de la salida (plug de $\frac{1}{4}$) de variación de voltaje del instrumento musical y procesada por medio de la autocorrelación normalizada por coeficiente para la detección de cada una de las frecuencias fundamentales provenientes del instrumento musical, haciendo de esta una solución factible a la hora de suplementar un proceso con miras al perfeccionamiento del objetivo específico número 1.

Seguidamente de la implementación del análisis de señal determinado para este proyecto, se procedieron a transformar las frecuencias fundamentales de cada interpretación en notas de mensaje MIDI, que luego, serían transportadas en un

canal con una transducción real del valor de intensidad de la interpretación llamada velocidad.

Todo este proceso de conversión se forjaba con el fin de tener un mensaje de salida MIDI directamente conectado con un secuenciador o un programa de producción musical, que sin necesidad de tener elementos (hardware) externos estuviese vinculada directamente con el instrumento musical; por medio de su tarjeta de sonido y de un software de programación como MATLAB además de un puerto MIDI virtual.

Después de tener una configuración de salida establecida, un reconocimiento de frecuencia debidamente efectuado y la conversión a lenguaje MIDI correcta, se procede a la vinculación del algoritmo matemático con otro software externo mediante la codificación de la salida del programador a la tarjeta de sonido del computador por medio de un puerto virtual, para que este a su vez, se vinculara e interpretara directamente con el software de producción musical.

6 CONCLUSIONES

El dispositivo conversor de nota musical a nota MIDI para bajo eléctrico resulto práctico y efectivo en todas las etapas de su desarrollo, teniendo en cuenta que para mejorarlas se hicieron múltiples pruebas y algunos cambios que llevaron a que cada una de estas etapas a ser complemento de su siguiente. Como resultado de estas pruebas y de la intención de mejorar en cada proceso de desarrollo al cumplimiento de los objetivos específicos se derivaron las siguientes conclusiones.

- Con respecto al desarrollo de filtros para el reconocimiento de la información y la detección de la frecuencia fundamental expuestos en el objetivo uno y dos de la investigación, se concluye que el dispositivo de conversión no se debía realizar mediante el FFT (transformada rápida de Fourier) debido que este que no funcionaria en tiempo real, ya que es un algoritmo que utiliza la decimación como su núcleo principal de funcionamiento. Esto hace referencia a cambiar la frecuencia de sampleo, lo que aumentaría el tiempo de proceso retardando el resultado y generando lo que se conoce como latencia.

Por esta razón se opto por la autocorrelacion como un método eficaz para la detección de la frecuencia fundamental de cada una de las interpretaciones provenientes del instrumento musical

- En el proceso de tratamiento y análisis de la señal, se estableció como conclusión, que La frecuencia mínima que se puede identificar proveniente del instrumento musical, tiene que ser al menos dos veces el mínimo teórico calculado. Esto esta directamente relacionado con la frecuencia de sampleo y el bloque de procesamiento de adquisicion de datos. Esto se deriva de la división de Block Size o bloque de adquisición que para este caso es de 4096, y la frecuencia de sampleo la cual es de 44100. de esta

manera se obtiene un valor en segundos que refleja el periodo, el cual dividido sobre uno dará la frecuencia mínima de adquisición teórica. La cual, para su óptimo funcionamiento en la práctica real será del doble de acuerdo con la frecuencia mínima proveniente del instrumento musical.

- Eventualmente y gracias a la conclusión anterior que modifica los parámetros del bloque de procesamiento, la frecuencia de sampleo y la frecuencia del instrumento musical, este dispositivo podría funcionar para cualquier clase de instrumento que entrase por línea directa a la tarjeta de sonido de la computadora como un guitarra, un teclado o un dispositivo eléctrico o electrónico.
- Debido a la no implementación de un dispositivo externo tangible de conversión como el GK – 2A de Roland, y con miras a la optimización del producto se perfeccionó la idea de realizar un elemento externo (expuesta en el objetivo específico número 4) implementando la conexión directa por entrada de plug de 1/4 o 1/8 con la tarjeta de sonido, ya que la solución que se planteaba en comienzo en el objetivo inicial lo hacía exclusivo y costoso a la hora de su adquisición. Y por el contrario, lo que se postulo en segunda instancia hace del dispositivo conversor un elemento genérico capaz de ser reproducido en cualquier computadora y sin necesidad de ningún hardware o aplicación externa más que el de la tarjeta de sonido impresa en esta misma.
- En una de las limitantes planteadas en el comienzo del proyecto se hacía referencia a que el dispositivo conversor debido a la cantidad de filtros que se tendrían que realizar para cada una de las notas, solamente funcionaría para las dos primeras octavas del instrumentos, por esta razón y gracias al

principio de autocorrelacion como método de detección para la frecuencia fundamental se concluye que el dispositivo funcionó satisfactoriamente para las 84 notas que constituyen el instrumento, musical sin ninguna restricción que haga referencia alguna de sus octavas.

- Debido a que la inmensa mayoría de estudiantes de ingeniería de sonido que ingresan a la universidad de San Buenaventura a realizar sus estudios lo hacen inclinados por su afinidad musical, se concluye que el paquete didáctico MIDIBASS inducirá un interés agregado a los estudiantes al estudio de las ciencias básicas en especial al de la programación matemática, ya que se estaría llegando a ellos con implementos que son de su completa entereza.

7 RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados arrojados por el trabajo investigativo y de desarrollo, y en aras del mejoramiento de este dispositivo por parte de personas interesadas en este tipo de sistema de conversión, se ponen a consideración algunas recomendaciones que se consideran importantes.

- Sería posible ampliar el rango de frecuencias del instrumento musical, ya que hay algunos de este tipo que traen consigo cinco y seis cuerdas, para esto se debería calcular nuevamente el mínimo teórico y algunos parámetros del dispositivo conversor.
- Este dispositivo conversor fue diseñado para una señal monofónica. Sería de gran importancia que en futuras investigaciones partiendo de este proyecto se ampliara a un espectro polifónico.
- Se debe tener en cuenta que existen diferentes tipos de computadoras y por consiguiente diferentes tipos de tarjetas de sonido, así que se debe prever si la entrada cuenta con algún tipo de preamplificación o si el instrumento musical es de tipo activo o pasivo. Después de esto se debe analizar si se necesita alguna clase de preamplificación de la señal.
- Es de suma importancia que el instrumento musical este debidamente afinado y octavado como se estipuló en un comienzo. De este aspecto importante depende que el dispositivo conversor diferencie las notas musicales en sus diferentes octavas de posición.

- Se recomienda no intentar vincular este sistema de conversión en plataformas MAC, ya que la aplicación simulink de Matlab para esta plataforma aun no trae algunos Tool Box y aplicaciones necesarias para el funcionamiento del dispositivo conversor.

BIBLIOGRAFIA

- DISEÑO DE UNA INTERFAZ MIDI PARA SEÑAL MONOFÓNICA MEDIANTE DSP” Realizado por Victor Sánchez Rebull en el departamento de TSC de la Escola Tècnica Superior d’Enginyeria de Telecomunicación de Barcelona. Mensajes MIDI,
- Equipos actuales de sonido, de Tomas Perales Benito, Ed Paraninfo
- ANAYA ENCICLOPEDIA, Estudio MIDI. Historia del MIDI
- FARALL JORGE, Midi, Sintesis, Samplers...y Algo Mas. Glosariode Electronica Aplicada A La Musica, Terminos para el glosario.
- Definición de términos musicales <http://definicion.org/musica>
- CARRIÓN ISBERT, Antoni. Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos. Primera Edición, Editions UPC, 1998.
- Enciclopedia en Línea Wikipedia, <http://es.wikipedia.org/>, 2007.
- La física, definiciones. <http://es.wikibooks.org/>.
- SALA PABLO, Abc MIDI, conceptos elementales.
- Definiciones de audio. <http://www.diccionario-audio.buscamix.com>.
- Definiciones de Audio. <http://diccionario-audio.buscamix.com>.
- de Andy Kempe - Education – 2002 The Script Sampler: Extracts for Performance at Gcse.
- Portal del desarrollador de Matlab. www.mathworks.com

- Código de output midi en C .<http://improv.sapp.org/doc/howto/basicoutput/>
- Glosario de terminos relacionados con la investigacion
<http://www.doctorproaudio.com/doctor/diccionario.htm>.