



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO DE UN SISTEMA BASADO EN FPGA PARA LA
CONCENTRACIÓN DE DATOS CINEMÁTICOS
OBTENIDOS POR LOS SENSORES DE LOS BUQUES Y
SUBMARINOS DE LA ARMADA DEL ECUADOR”**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

SANTOS ALEXANDER GARCÍA ARIAS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por haberme apoyado siempre. A mis amigos. Al departamento de DINDES por permitir realizar mi trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas beneficiadas con el resultado de este proyecto.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
MSc. Ricardo Cajo

PROFESOR EVALUADOR

.....
MSc. Víctor Asanza

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Santos Alexander García Arias

RESUMEN

La Armada del Ecuador cuenta con programas de modernización para su flota. Uno de los programas es el Concentrador de Datos Cinemáticos encargado de ofrecer información vital al navegante. El nuevo DCU será realizado en una tarjeta de desarrollo para FPGA, con la cual se adquiere la información de los sensores de los buques y submarinos para luego decodificar esa información y mostrar de manera legible los datos en las estaciones de mando y control.

En el primer capítulo se describe el problema que tienen los antiguos equipos desarrollados en la Armada, justificando el porqué de la nueva versión, desarrollado sobre FPGA, es más rentable.

En el segundo capítulo se describe los conceptos básicos de los sensores cinemáticos que se encuentran en los buques y submarinos como son la Estación Meteorológica LAMBRECHT, el GPS/ECOSONDA Furuno GP-7000F y la Plataforma Inercial Sigma 40. Analizamos las tramas de información para conocer cuáles son los datos más importantes a presentar. Además, se describe la tarjeta de desarrollo SPARTAN-3E que es la encargada de procesar la información.

En el tercer capítulo se describe el desarrollo del proyecto empezando por un diagrama de bloques que describe las partes del proceso que se ejecuta en la FPGA, en el Computador Central y en las Pantallas de National Instruments.

En el cuarto capítulo se describe los resultados del proyecto junto al análisis de costo. En los anexos se encuentra todo el código desarrollado para la SPARTAN-3E y los diseños realizados en LabView.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
CAPÍTULO 1	1
1.DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Alcance del Proyecto.....	3
CAPÍTULO 2.....	5
2.ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Marco Teórico.....	6
2.2.1 Sensores Cinemáticos	6
2.2.2 Protocolos y Estándares de Comunicación	12
2.2.3 Software de Desarrollo	18
CAPÍTULO 3.....	20

3.METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	20
3.1 Representación en bloques de códigos VHDL	21
3.2 Simulador de Tramas realizado en LABVIEW	37
3.3 Receptor de datos UDP y Transmisor de datos TCP/IP del Computador Central realizado en LABVIEW	38
3.4 Receptor de datos TCP/IP de las Pantallas de National Instruments realizado en LABVIEW	40
3.5 Base de datos del Computador Central realizado en LABVIEW ..	41
CAPÍTULO 4.....	42
4.RESULTADOS.....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Equipo FURUNO GP-7000F [1].	6
Figura 2.2. Equipo LAMBRECHT QUATRO-IND (1642). [2].	8
Figura 2.3. Equipo SIGMA 0 [3].	11
Figura 2.4. Modelo de transmisión de datos vía RS-232.	14
Figura 2.5. Bits de una transmisión asíncrona. [4].	15
Figura 2.6. FPGA Spartan-3E. [6].	17
Figura 3.1. Esquema de trabajo del DCU.	20
Figura 3.2. Bloque DCU.	21
Figura 3.3. Bloque interno DCU.	22
Figura 3.4. Bloque Divisor_frecuencia_4800_24.	22
Figura 3.5. Bloque Divisor_frecuencia_38400_24.	23
Figura 3.6. Bloque ESTACION_METEOROLOGICA.	23
Figura 3.7. Bloque interno ESTACION_METEOROLOGICA.	24
Figura 3.8. Bloque Controlador_UART.	24
Figura 3.9. Bloque UART.	25
Figura 3.10. Bloque Contador_5bits.	25
Figura 3.11. Bloque Comparador_5bits.	25
Figura 3.12. Bloque Codificador_EM.	26
Figura 3.13. Bloque GPS_ECOSONDA.	26
Figura 3.14. Bloque interno GPS_ECOSONDA.	27
Figura 3.15. Bloque Codificador_GPS_E.	27
Figura 3.16. Bloque PLATAFORMA_INERCIAL.	28
Figura 3.17. Bloque interno PLATAFORMA INERCIAL.	29
Figura 3.18. Bloque Codificador_PLATAFORMA_INERCIAL.	29
Figura 3.19. Bloque ascii_hex.	30
Figura 3.20. Bloque unir_hex.	30
Figura 3.21. Bloque Heading_codificador.	30

Figura 3.22. Bloque Roll_Pitch_codificador.	31
Figura 3.23. Bloque hex_ascii.....	31
Figura 3.24. Bloque Counter.....	32
Figura 3.25. Bloque Transmisor_ethernet.....	32
Figura 3.26. Bloque testSender.	33
Figura 3.27. Bloque interno testSender.	34
Figura 3.28. Bloque UDPSender.....	34
Figura 3.29. Bloque interno UDPSender.....	35
Figura 3.30. Bloque checksum_calc.	35
Figura 3.31. Bloque ethernetSnd.	36
Figura 3.32. Bloque interno ethernetSnd.	36
Figura 3.33. Bloque crcGenerator.....	36
Figura 3.34. Bloque ram1k.....	37
Figura 3.35. Simulador de tramas a 4800 baudios.	37
Figura 3.36. Simulador de tramas a 38400 baudios.	38
Figura 3.37. Programacion en Labview para transmision serial.	38
Figura 3.38. Interfaz Gráfica del Computador Central.	39
Figura 3.39. Programacion en LABVIEW para recepcion de datos UDP.....	39
Figura 3.40. Programacion en LABVIEW para la transmision de datos via TCP/IP.	40
Figura 3.41. Interfaz Grafica para las Pantallas de National Instruments.	40
Figura 3.42. Programación en LABVIEW para la recepción de datos vía TCP/IP.	41
Figura 3.43. Programación en LABVIEW para la creación de Base de Datos.	41
Figura 4.1. Tarjeta de Desarrollo Spartan 3E Starter Board.....	42
Figura 4.2. Ventana del programa Wireshark, para la toma de datos UDP...	43
Figura 4.3. Simulador de tramas de sensores cinemáticos de 4800 baudios..	43
Figura 4.4. Simulador de tramas de sensores cinemáticos de 38400 baudios.....	44
Figura 4.5. Transmisor de datos UDP a TCP/IP y Base de Datos.....	44

Figura 4.6. Interfaz para pantallas de National Instruments.....	44
Figura 4.7. Base de Datos implementada en Microsoft Access.....	45
Figura 4.8. Resultado del proyecto visto en las pantallas de National Instruments.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Trama de datos \$GPGLL.....	7
Tabla 2. Trama de datos \$GPDBT.....	8
Tabla 3. Trama de datos \$WIMWV.....	9
Tabla 4. Trama de datos \$WIMTA.....	10
Tabla 5. Trama de datos \$WIMHU.....	10
Tabla 6. Trama de datos \$WIMMB.....	11
Tabla 7. Mensaje a 100 Hz del equipo SIGMA 40.....	12
Tabla 8. Identificadores de talkers.....	13
Tabla 9. Identificadores de sentencia.....	14
Tabla 10. Datagrama UDP. [5].....	16
Tabla 11. Costos de equipos.....	46

CAPÍTULO 1

1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

En este capítulo se detallarán los lineamientos principales del problema a resolver, así como también, los objetivos principales para la consecución del presente proyecto.

1.1 Planteamiento del Problema.

La Armada del Ecuador, responsable de conservar la soberanía marítima del Ecuador, cuenta en su flota naval con buques que deben ser modernizados. Uno de los programas de modernización es el Concentrador de Datos Cinemáticos que en los últimos años ha sido objeto de cambios debido a equipos antiguos y obsoletos o por el intercambio de los desarrolladores.

De los equipos que se encuentran como Concentrador de Datos Cinemáticos está "KRONOS", este equipo se encarga de procesar las tramas de datos de diferentes sensores, fue diseñado con el único fin de proveer datos al prototipo de guerra electrónica "ARES", por lo cual es limitado porque no ofrece información al navegante. En la actualidad KRONOS no se encuentra operativo debido a que el equipo ARES se encuentra fuera de servicio.

El último prototipo desarrollado usa equipos de NATIONAL INSTRUMENTS y NORTH ATLANTIC INDUSTRIES, el cual proporciona una alta confiabilidad en la adquisición de datos y transmite la información a diferentes estaciones de mando y control. En la actualidad el prototipo no está en operación debido a los altos costos de producción e instalación.

Con el fin de mantener al navegante al tanto de toda la información que ocurre en el ambiente del buque y pueda tomar decisiones acertadas se debe desarrollar un Concentrador de Datos Cinemáticos que analice y procese las tramas de sensores para luego ser mostradas de forma clara en las estaciones de mando y control.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema basado en FPGA para la concentración de datos cinemáticos obtenidos por los sensores de los buques de la Armada del Ecuador.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Identificar las diferentes tramas de datos, obtenidas de los sensores cinemáticos, para su decodificación y procesamiento en la FPGA.
- Desarrollar los diferentes códigos VHDL para la captura de datos seriales, la decodificación de tramas NMEA 0183 y la transmisión de datos por medio del protocolo UDP.
- Establecer la comunicación de la FPGA al computador central por medio del protocolo UDP, para luego transmitir los datos a pantallas táctiles de NATIONAL INSTRUMENTS usando LABVIEW como herramienta de diseño.
- Registrar toda la información obtenida en una base de datos.

1.3 Justificación.

La Armada del Ecuador cuenta con seis Corbetas Lanzamisiles de Clase Esmeraldas equipadas con sensores cinemáticos, los cuales son ESTACION METEOROLOGICA, GPS, ECOSONDA y PLATAFORMA INERCIAL. Estos sensores dan información útil sobre el ambiente de navegación en el que se encuentra el buque, por lo cual debe ser importante que el navegante tenga acceso a esta información para que pueda tomar decisiones acertadas.

En los últimos años los equipos que se han desarrollado no están funcionando o por su alto costo no están instalados. Es por eso que se ofrece una solución basada en FPGA que tiene como ventajas su fácil implementación y costos relativamente bajos.

El concentrador de Datos Cinemáticos actual está desarrollado con equipos de NATIONAL INSTRUMENTS Y NORTH ATLANTIC INDUSTRIES, el prototipo se

compone de módulos periféricos que sirven para la adquisición y transmisión de datos. Aunque se cumple con todas las especificaciones requeridas por el navegante, no se ha implementado en los buques de la Armada del Ecuador debido a que el equipo en si es muy grande y no hay tanto espacio para instalarlo. Otra desventaja que representa es, si llega a fallar o dañarse, los módulos requieren ser cambiados y el costo monetario es alto.

Para poder solucionar los problemas que tenían los antiguos equipos se va a elaborar el Concentrador de Datos Cinemáticos en una tarjeta de desarrollo digital de XILINX que tiene una FPGA tipo SPARTAN 3E. El equipo permite la adquisición en tiempo real de los datos de todos los sensores cinemáticos instalados en el buque por medio del estándar de Comunicación en Serie RS-422. Estos datos serán decodificados para ser transmitidos por medio del protocolo UDP al computador centrar y luego del computador centrar serán transmitidos a las estaciones de mando y control por medio del protocolo TCP/IP.

1.4 Alcance del Proyecto.

En la actualidad se tiene toda la información de los datos cinemáticos de los buques de la Armada del Ecuador en el equipo NI PXI-1082 de NATIONAL INSTRUMENTS. El problema está en los costos de instalación de los equipos. Es por eso que se ha decidido migrar toda la información a un sistema basado en FPGA.

Con el nuevo sistema los costos de producción son más bajos, además de obtener un equipo de menor tamaño y fácil de instalar. El sistema de encargará de la concentración de los datos cinemáticos en tiempo real, determinando si los sensores se encuentran en buen estado además de indicar si se reporta algún daño.

Se van a desarrollar los respectivos códigos para la captura de datos seriales provenientes de los sensores, la decodificación de las tramas NMEA 0183, la transmisión de datos vía UDP, por medio del lenguaje de programación VHDL.

El proyecto finaliza con la presentación de todos los datos, que deberán ser almacenados en una base de datos, para que la información sea mostrada de una manera legible para el navegante.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

En base a los objetivos planteados en el capítulo anterior, se detallarán a continuación las características de los principales elementos que comprenden los sistemas embebidos en base a FPGA's y las aplicaciones de los sensores de los buques para los datos cinemáticos que estos pueden producir.

Es importante recalcar el hecho de que la mayoría de procesos a describir son desarrollados en el país para las diferentes entidades marítimas que existen en Ecuador.

2.1 Antecedentes.

El primer Concentrador de Datos Cinemáticos "KRONOS", desarrollado por ASTINAVE, procesa las tramas de datos de los diferentes sensores para proveer de información al prototipo de guerra electrónica "ARES", diseñado por DINDES y luego desarrollado por ASTINAVE. Otro de los objetivos fue proporcionar de información a un sistema de mando y control, pero nunca fue desarrollado. En la actualidad el prototipo de ARES se encuentra fuera de servicio por lo cual KRONOS no está operativo y al no contar con interfaces HMI el equipo ha sido olvidado.

La Armada del Ecuador, al no contar con un concentrador de datos, busco desarrollar un nuevo prototipo que permita concentrar la información de los sensores cinemáticos para complementar el trabajo de los navegantes y así salvaguardar la soberanía marítima y controlar las actividades ilícitas. Es por eso que DINDES desarrollo el nuevo prototipo con equipos de NATIONAL INSTRUMENTS y NORTH ATLANTIC INDUSTRIES. El computador empleado es un modelo NI PXI-1082, este computador permite realizar pruebas y mediciones de alto rendimiento, tiene instalado tarjetas tipo PXI-8431/8, encargada de la recepción de datos seriales, tarjeta 75SD1, encargada de la

conversión de datos síncronos. Además, cuenta con interfaces hombre-maquina al tener dos pantallas táctiles modelo TCP-2512 de NATIONAL INSTRUMENTS.

El nuevo DCU cuenta con todos los requisitos que necesitaba la Armada del Ecuador, pero el problema estaba en que los costes de producción eran altos, además de que la instalación del equipo debía ser objeto de estudio para evitar que factores como la vibración, temperatura, ruido, etc., puedan dañar al equipo. Es por estas razones que el nuevo DCU aún no ha sido instalado en ninguna unidad.

2.2 Marco Teórico.

2.2.1 Sensores Cinemáticos.

A continuación, se detallarán brevemente los sensores cinemáticos utilizados en los buques de la armada los cuales son escogidos de acuerdo con las ventajas que posee cada uno.

GPS/ECOSONDA FURUNO GP-7000F.

El equipo FURUNO GP-7000F trae incorporado un GPS (Global Positioning System) encargado de presentar información sobre el posicionamiento de un objeto en la Tierra. A su vez cuenta con una Sonda Náutica que permite determinar la distancia vertical entre el fondo del lecho marino y la embarcación. El equipo se muestra a continuación en la Figura 2.1.

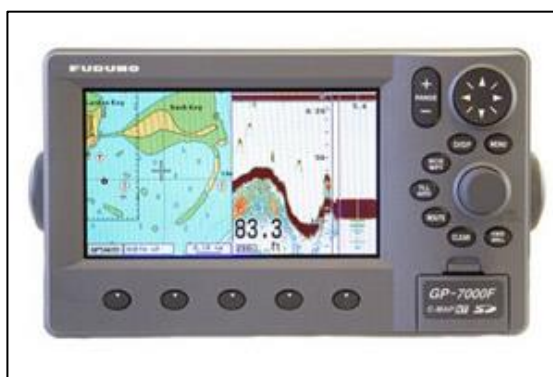


Figura 2.1. Equipo FURUNO GP-7000F [1].

Las tramas generadas por el equipo según la norma NMEA 0183 son:

\$GPGLL,9999.99,S,99999.99,W,240000,A*CS<CR><LF>, que da información sobre la posición geográfica, latitud, longitud y tiempo. En la **Tabla 1** se muestra la descripción de la trama.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
CABECERA	\$GPGLL
LATITUD	XXXX.XX
N/S INDICADOR	N=NORTE O S=SUR
LONGITUD	XXXXX.XX
E/O INDICADOR	E=ESTE O W=OESTE
UTC POSITION	HH MMSS SS
ESTADO	A=DATO VALIDO O V=DATO NO VALIDO
DELIMITADOR DEL CHEKSUM	*
CHEKSUM	CS
DELIMITADORES DE PARADA	<CR><LF>

Tabla 1. Trama de datos \$GPGLL.

\$GPDBT,999.99,F,99.9,M,99.9,F,*CS<CR><LF>, que da información sobre la profundidad del mar. En la **Tabla 2** se muestra la descripción de la trama.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
CABECERA	\$GPDBT
PROFUNDIDAD	XXX.X
UNIDAD[PIES]	F
PROFUNDIDAD	XX.X
UNIDAD[METROS]	M
BRAZAS DE PROFUNDIDAD	XX.X
UNIDAD[BRAZAS]	F
DELIMITADOR DEL CHEKSUM	*
CHEKSUM	CS
DELIMITADORES DE PARADA	<CR><LF>

Tabla 2. Trama de datos \$GPDBT.

Estación Meteorológica LAMBRECHT QUATRO-IND (1642).

El sensor climático QUATRO-IND es el encargado de dar información relacionado al clima. El sistema mide y procesa los diferentes parámetros meteorológicos: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura del aire, humedad relativa, presión barométrica y temperatura de rocío. En la Figura 2.2 se observa el sensor.



Figura 2.2. Equipo LAMBRECHT QUATRO-IND (1642). [2]

Las tramas generadas por el equipo según la norma NMEA 0183 son:

\$WIMWV,999.9,R,99.9,M,A*CS<CR><LF>, que da información sobre la velocidad y dirección del viento. En la **Tabla 3** se muestra la descripción de la trama.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
CABECERA	\$WIMWV
DIRECCION DEL VIENTO	XXX.X
DIRECCION RELATIVA DEL VIENTO	R
VELOCIDAD DEL VIENTO	XX.X
UNIDAD[M/S]	M
ESTADO	A=DATO VALIDO O V=DATO NO VALIDO
DELIMITADOR DEL CHEKSUM	*
CHEKSUM	CS
DELIMITADORES DE PARADA	<CR><LF>

Tabla 3. Trama de datos \$WIMWV.

\$WIMTA,-99.9,C*CS<CR><LF>, que da información sobre la temperatura del aire. En la **Tabla 4** se muestra la descripción de la trama.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
CABECERA	\$WIMTA
TEMPERATURA	XXX.X
UNIDAD[CENTIGRADOS]	C
DELIMITADOR DEL CHEKSUM	*
CHEKSUM	CS
DELIMITADORES DE PARADA	<CR><LF>

Tabla 4. Trama de datos \$WIMTA.

\$WIMHU,999.9,-99.9,C*CS<CR><LF>, que da información sobre la humedad relativa y el punto de rocío. En la **Tabla 5** se muestra la descripción de la trama.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
CABECERA	\$WIMHU
HUMEDAD RELATIVA	XXX.X
TEMPERATURA PUNTO DE ROCIO	XXX.X
UNIDAD[CENTIGRADOS]	C
DELIMITADOR DEL CHEKSUM	*
CHEKSUM	CS
DELIMITADORES DE PARADA	<CR><LF>

Tabla 5. Trama de datos \$WIMHU.

\$WIMMB,,,9999.9,B*CS<CR><LF>, que da información sobre la presión barométrica. En la **Tabla 6** se muestra la descripción de la trama.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
CABECERA	\$WIMMB
PRESION BAROMETRICA	XXXX.X
UNIDAD[hPA]	B
DELIMITADOR DEL CHEKSUM	*
CHEKSUM	CS
DELIMITADORES DE PARADA	<CR><LF>

Tabla 6. Trama de datos \$WIMMB.

Plataforma Inercial SIGMA 40.

El equipo SIGMA 40 es un sistema que ayuda a la navegación, tiene información sobre el Rumbo, Cabeceo y Balanceo que afectan a el buque. Los datos son generados mediante mensajes en formato Hexadecimal a frecuencias de 10 y 100 Hz. En la Figura 2.3 se observa el equipo.



Figura 2.3. Equipo SIGMA 0 [3]

El mensaje genera a 100 Hz lo podemos observar en la **Tabla 7**.

MENSAJE DE 100 Hz	
NOMBRE	DESCRIPCION
CABECERA	5AA5
RUMBO	BYTE 6-7
BALANCEO	BYTE 8-9
CABECEO	BYTE 10-11

Tabla 7. Mensaje a 100 Hz del equipo SIGMA 40.

2.2.2 Protocolos y Estándares de Comunicación.

NMEA 0183.

La asociación nacional de electrónica marina establece el estándar NMEA 0183 como una interfaz electrónica y un protocolo de datos para la comunicación entre equipos electrónicos marinos tales como anemómetros, girocompás, pilotos automáticos y receptores GPS entre otros instrumentos.

Los dispositivos basados en el estándar NMEA 0183 son llamados “talkers” o “listener” empleando una interfaz asíncrona que tiene los siguientes parámetros:

- Velocidad de Transmisión: 4800
- Numero de bits de datos: 8
- Bits de parada: 1(o más)
- Paridad: Ninguna
- Handshake: Ninguno

NMEA 0183 utiliza el estándar eléctrico RS-422 o RS-232, un sistema diferencial con dos líneas de señal “A” y “B”. Las señales diferenciales no tienen referencia a tierra por lo cual son más inmunes al ruido.

Todos los datos se transmiten en sentencias. La información se lee en carácter ASCII. Cada sentencia empieza con un “\$” y terminar con “<CR><LF>”. El formato general de una sentencia es:

\$tsss,d1,d2,...<CR><LF>

Las primeras dos letras después de “\$” son los identificadores del “talker”. Los siguientes tres caracteres(sss) son los identificadores de sentencia, seguido por el número de campos de datos separados por comas, y por último el acarreo de retorno (<CR>) y el salto de línea (<LF>).

Los tipos de identificadores de “talkers” que usaremos están representados en la **Tabla 8**.

IDENTIFICADOR	DESCRIPCION
GP	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL(GPS)
WI	INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS

Tabla 8. Identificadores de talkers.

Los identificadores de sentencias que usaremos están representados en la **Tabla 9**.

IDENTIFICADOR	DESCRIPCION
GLL	POSICION GEOGRAFICA- LATITUD/LONGITUD
DBT	PROFUNDIDAD POR DEBAJO DEL TRANSDUCTOR
MWV	ANGULO Y VELOCIDAD DEL VIENTO
MTA	TEMPERATURA DEL VIENTO
MHU	HUMEDAD RELATIVA
MMB	PRESION BAROMETRICA

Tabla 9. Identificadores de sentencia.

Interfaz RS-232

RS-232 es la norma para el intercambio de datos binarios entre un equipo transmisor y un receptor. Se pueden establecer canales para la comunicación de tres formas: simple, semi dúplex y full dúplex. Para la comunicación full dúplex se utilizan dos líneas (una de transmisión y otra de recepción) y la línea de referencia a tierra. En la Figura 2.4 se observa la conexión full dúplex donde la línea de transmisión del equipo transmisor debe llegar a la línea de recepción del equipo receptor.

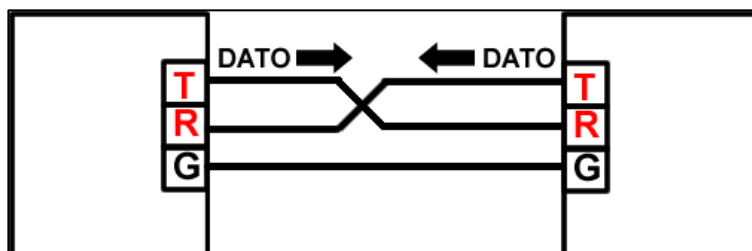


Figura 2.4. Modelo de transmisión de datos vía RS-232.

Sobre los circuitos los niveles de tensión con respecto a la señal de tierra son: +3 a +15[V] para un nivel lógico "0" y de -3 a -15[V] para un nivel lógico de "1".

La interfaz RS-232 se basa en la comunicación asíncrona de información binaria, esta consiste en enviar de forma sucesiva los bits de una palabra a través de la misma terminal. Se acuerda la velocidad de transmisión entre el transmisor y el receptor para asegurar la transferencia ordenada de los datos. En la Figura 2.5 podemos observar la palabra que incorpora los bits de sincronismo start/stop, los bits de datos (5 a 8 bits) y opcionalmente los bits de paridad.

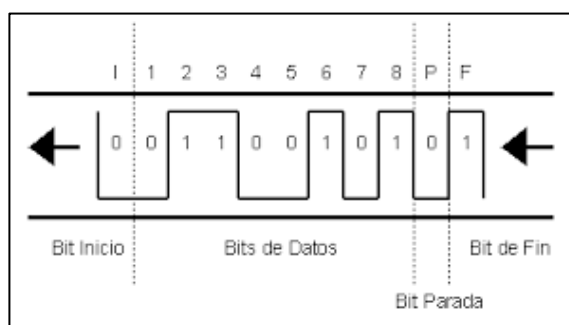


Figura 2.5. Bits de una transmisión asíncrona. [4]

Cuando no se está transmitiendo datos el canal debe poseer un "1" lógico. El bit de inicio está representado por un "0" lógico, por lo cual un cambio de "1" a "0" indica el inicio de un carácter. A continuación, se envían todos los bits de datos, se envía primero el bit más significativo, siendo el más significativo el último en enviarse. Luego se recibe el bit de paridad que se encarga de la detección de errores, mediante la paridad par o impar del número de unos en la trama. El ultimo bit del mensaje es un "1" lógico que corresponde al bit de stop.

PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN UDP.

User Datagram Protocol(UDP) es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas. Es un protocolo muy simple debido a que no proporciona una detección de errores, permitiendo él envío de datagramas a través de una red sin conexión. El encabezado y

los datos de información de un datagrama UDP lo podemos observar en la **Tabla 10**.

	Bits 0-15	16-31
0	Puerto de origen (16 bits)	Puerto de destino (16 bits)
32	Longitud total (16 bits)	Suma de comprobación del encabezado (16 bits)
64	Datos (longitud variable)	

Tabla 10. Datagrama UDP. [5]

El datagrama UDP se compone de: 16 bits que tienen el puerto de origen relacionado al transmisor del datagrama, los siguientes 16 bits tienen el puerto de origen del receptor del datagrama, los siguientes 16 bits se especifica la longitud del segmento del datagrama a ser transmitido, los siguientes 16 bits se refiere a la suma de comprobación, es un conjunto de operaciones que permite controlar la integridad del encabezado del datagrama, por último se envían todos los bits de datos del datagrama.

MODELO TCP/IP.

El modelo TCP/IP es usado para comunicaciones en redes. Está compuesto por dos protocolos de comunicación, el protocolo TCP (Protocolo de Control de Transmisión) y el IP (Protocolo de Internet). TCP/IP provee conectividad de extremo a extremo en base a la dirección IP, es decir, brinda una dirección IP a cada equipo de la red para poder enrutar paquetes de datos.

El modelo TCP/IP contiene cuatro capas o niveles:

Capa de red física, donde se especifica las características físicas del medio de comunicaciones, en este caso la red Ethernet.

Capa de vínculos de datos, identifica el tipo de protocolo en el cual se transmiten los datos para manejar el control de errores.

Capa de Internet, acepta y transfiere paquetes en la red, está incluido el protocolo IP, el protocolo de resolución de direcciones (ARP) y el protocolo de mensajes de control de internet (ICMP).

Capa de Transporte, garantiza que los paquetes lleguen en secuencia y sin errores, en caso de fallo retransmite los paquetes perdidos.

FPGA.

Una FPGA (Field Programmable Gate Array) es un dispositivo semiconductor que contiene una matriz de bloques de lógica configurables conectados a través de interconexiones programables. La FPGA cuenta con la ventaja de ser reprogramable, pudiendo ser usada para un sinnúmero de aplicaciones. Esta característica lo distingue de otros dispositivos como los ASICs que una vez programadas solo sirven para una tarea específica. En la Figura 2.6 podemos observar la FPGA tipo Spartan-3E.



Figura 2.6. FPGA Spartan-3E. [6]

Para aplicaciones avanzadas la FPGA viene incluida en tarjetas de desarrollo como la SPARTAN-3E FPGA STARTER KIT BOARD, creando

así un sistema embebido con las siguientes características requeridas para nuestro desarrollo:

- XILINX XC3S500E Spartan-3E FPGA
 - 232 I/O pins
 - Mas de 10.000 puertas lógicas
- Pantalla LCD, 2-lineas 16-caracteres
- 10/100 Ethernet PHY
- Dos puertos 9-pin RS-232
- Reloj Oscilador 50 MHz
- 8 leds
- 4 botoneras pulsantes
- 4 Switch deslizantes

2.2.3 Software de Desarrollo.

ISE Desing Suite

Xilinx ISE (Integrated Synthesis Environment) es una herramienta de software para la síntesis y análisis de diseño digital. Está basado en un entorno para el desarrollo de código VHDL para FPGA. VHDL (VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Hardware Description Language) es un lenguaje de descripción de circuitos electrónico-digitales. La estructura del programa se basa en una entidad (ENTITY) donde se declaran las entradas y salidas de un módulo, y la arquitectura (ARCHITECTURE) donde se da la descripción detallada del comportamiento del módulo.

LABVIEW.

LABVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), de National Instruments, es un software de ingeniería para el desarrollo de sistemas, usando un lenguaje de programación visual gráfico. LABVIEW simplifica la integración de hardware, donde se puede adquirir y visualizar datos de dispositivos de entrada y salida, ya sea de NI o de otros proveedores. A diferencia de otros softwares de desarrollo, la

programación grafica que ofrece LABVIEW reduce el tiempo de desarrollo de productos al simplificar sistemas complejos.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente proyecto ha sido desarrollado en una tarjeta de desarrollo de Xilinx, la Spartan 3E Starter Board, encargada de recibir los datos, decodificarlos y transmitirlos al computador central. El computador central nos sirve para guardar la información en una base de datos y poder transmitir la información a los mandos de control que son las pantallas de National Instruments.

El esquema de trabajo se representa en la Figura 3.1. en la cual se muestra la recepción de las tramas de los sensores cinemáticos mediante el interfaz RS-232/RS-422 a los puertos serie de la tarjeta de desarrollo de la Spartan 3E. La tarjeta cuenta con una FPGA que se encarga del proceso y transmisión de datos.

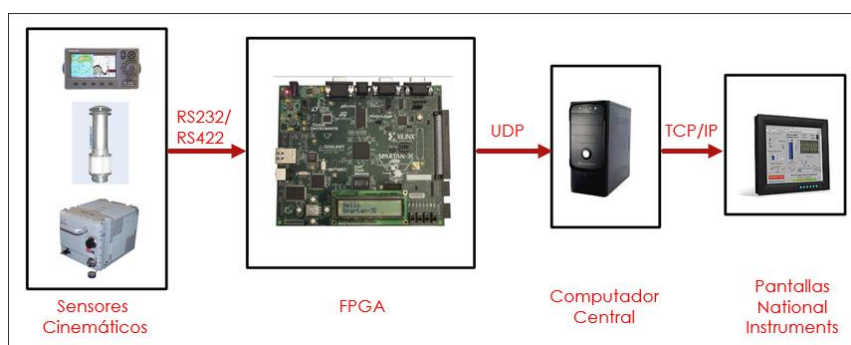


Figura 3.1. Esquema de trabajo del DCU.

A continuación se detallará todos los bloques de código VHDL hechos en el software ISE Design Suite, la programación se mostrará en los Anexos. Para entender los bloques de códigos, en la parte izquierda se representan las señales de entrada y en la parte derecha se representan las señales de salida. Las señales pueden ser `std_logic` donde reciben valores de '0' o '1' o si al final llevan paréntesis son `std_logic_vector`, teniendo una representación de número en binario.

3.1 Representación en bloques de códigos VHDL

DCU

Es el bloque principal del Concentrador de Datos Cinemáticos, tiene en sus entradas la señal “reset” asíncrono para reestablecer el equipo a sus datos iniciales, la señal de reloj “clock” que usa un cristal de 50MHz, la señal “RX_38400” representa la entrada de los sensores cinemáticos que trabajan a 38400 baudios. La señal “RX_4800” representa la entrada de los sensores cinemáticos que trabajan a 4800 baudios y por último la señal “TX_CLK” es un reloj interno de la tarjeta de desarrollo que trabaja a 25MHz. En la salida se tienen las señales “TX_EN” para la habilitación de la transmisión Ethernet y “TX_DATA” para transmitir los datos. Se puede observar en la figura 3.2.

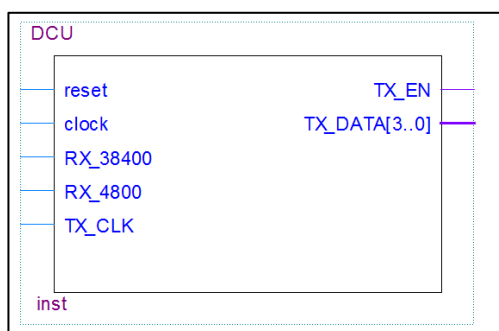


Figura 3.2. Bloque DCU.

Bloque interno DCU

El bloque DCU está compuesto de los bloques Divisor_frecuencia_4800_24, Divisor_frecuencia_38400_24, ESTACION_METEOROLOGICA, PLATAFORMA_INERCIAL, GPS_ECOSONDA, testSender. Se puede observar en la figura 3.3.

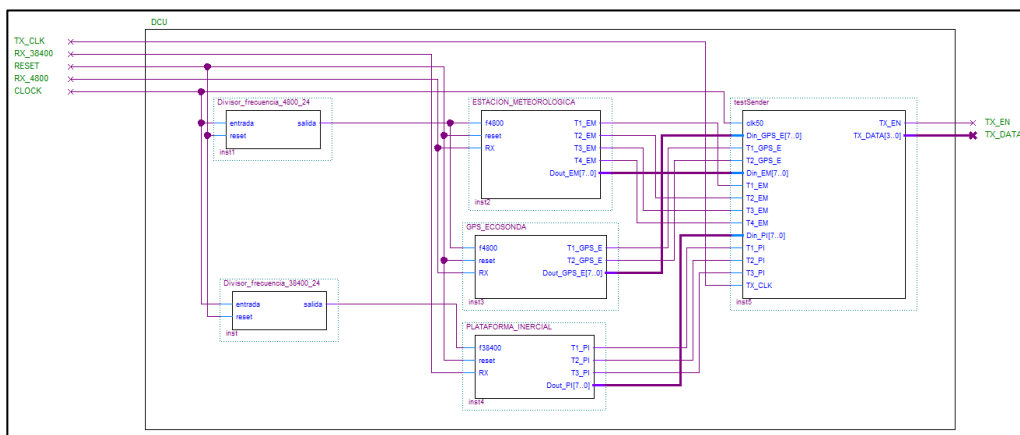


Figura 3.3. Bloque interno DCU.

Divisor_frecuencia_4800_24

El bloque Divisor_frecuencia_4800_24 se encarga de dividir la frecuencia de entrada de 50MHz a 115.2KHz para poder leer y trabajar con los datos de los sensores de 4800 baudios. Se puede observar en la figura 3.4.

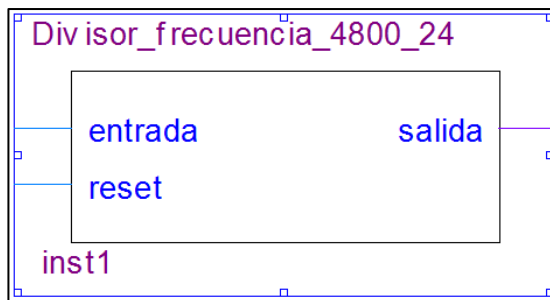


Figura 3.4. Bloque Divisor_frecuencia_4800_24.

Divisor_frecuencia_38400_24

El bloque Divisor_frecuencia_38400_24 se encarga de dividir la frecuencia de entrada de 50MHz a 921.6KHz para poder leer y trabajar con los datos de los sensores de 38400 baudios. Se puede observar en la figura 3.5.

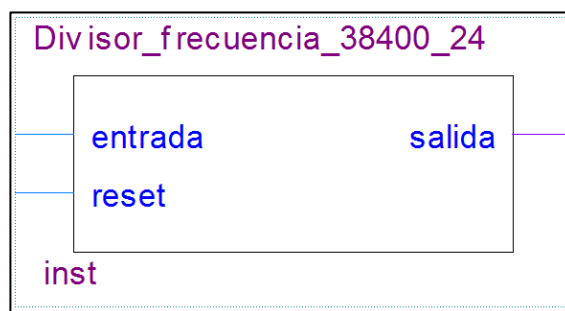


Figura 3.5. Bloque Divisor_frecuencia_38400_24.

ESTACION_METEOROLOGICA

El bloque ESTACION_METEOROLOGICA se encarga de la recepción y decodificación de las tramas del sensor cinemático LAMBRECHT QUATRO-IND (1642). En las señales de entrada tenemos “f4800” que es el reloj de trabajo para los sensores de 4800 baudios, la señal “reset” asíncrona y “RX” que es la señal receptora del puerto serial de la FPGA. A la salida se tienen las señales “T1_EM”, “T2_EM”, “T3_EM”, “T4_EM” que indican cuando una trama ha sido decodificada, y por último “Dout_EM” que transmite los datos al bloque testSender. Se puede observar en la figura 3.6.

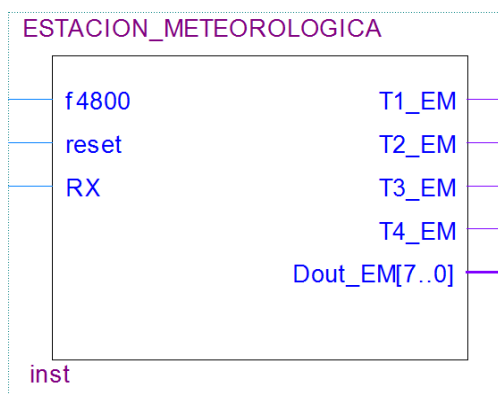


Figura 3.6. Bloque ESTACION_METEOROLOGICA.

Bloque interno ESTACION_METEOROLOGICA

El bloque ESTACION_METEOROLOGICA está compuesto por los bloques UART, Codificador_EM, Controlador_UART, Contador_5bits y Comparador_5bits. Se puede observar en la figura 3.7.

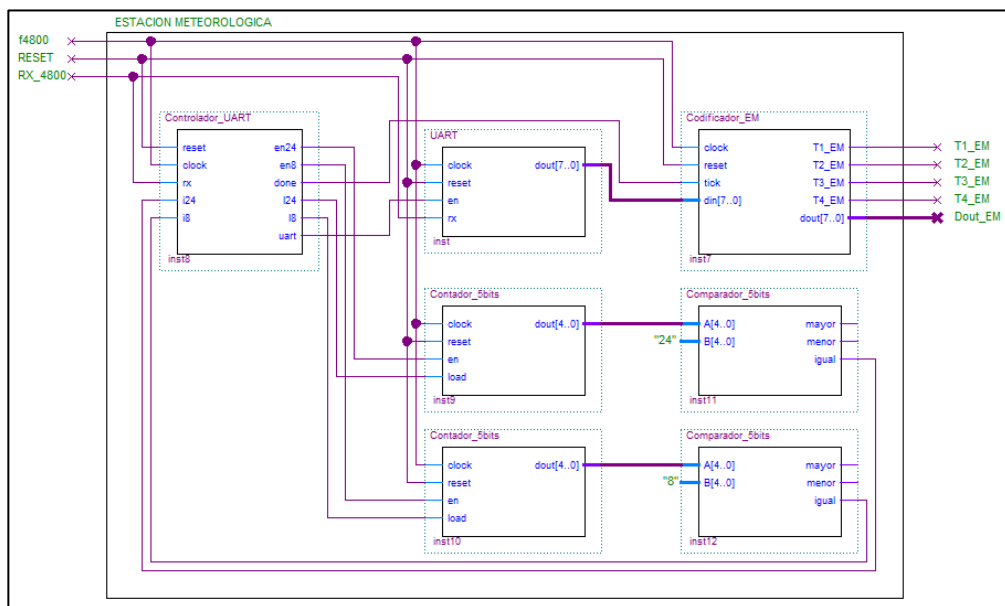


Figura 3.7. Bloque interno ESTACION_METEOROLOGICA.

Controlador UART

El bloque Controlador_UART es un bloque desarrollado como máquina de estado, cumple funciones para indicar el inicio de la transmisión RS-232/RS-422 y la adquisición de los bits de las tramas. Se puede observar en la figura 3.8.

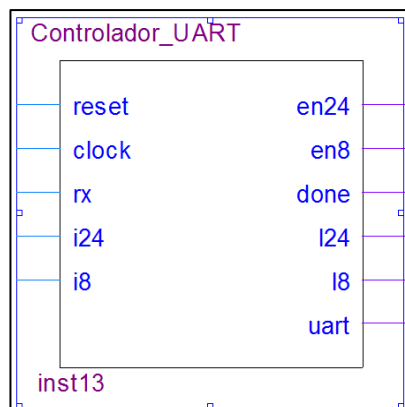


Figura 3.8. Bloque Controlador_UART.

Bloque UART

El bloque UART se encarga de combinar los bits de información de los sensores cinemáticos para juntarlos en un solo byte. Se puede observar en la figura 3.9.

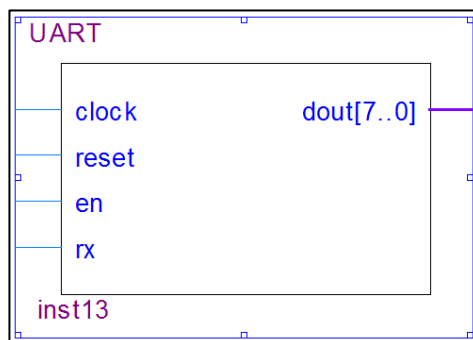


Figura 3.9. Bloque UART.

Contador_5bits

El bloque Contador_5bits es un contador que nos lleva la cuenta de los flancos de reloj para el intercambio entre bits. Se puede observar en la figura 3.10.

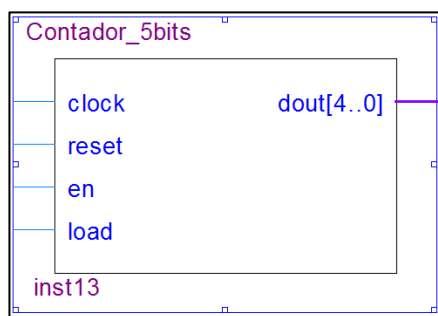


Figura 3.10. Bloque Contador_5bits.

Comparador_5bits

El bloque Comparador_5bits se encarga de comparar los contadores de flanco de reloj con un número en específico. En este caso se dividió un bit de información en 24 flancos de reloj. Se puede observar en la figura 3.11.

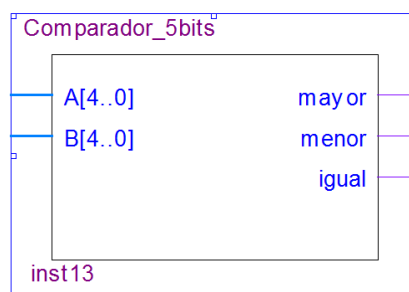


Figura 3.11. Bloque Comparador_5bits.

Codificador_EM

El bloque Codificador_EM se encarga de recibir la información del UART byte a byte e ir decodificando las tramas para separar la información útil. Se requiere analizar 4 tramas. Se puede observar en la figura 3.12.

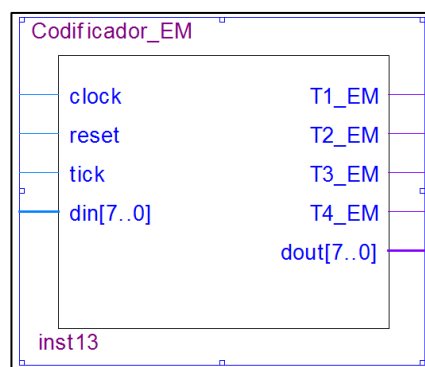


Figura 3.12. Bloque Codificador_EM.

GPS_ECOSONDA

El bloque GPS_ECOSONDA se encarga de la recepción y decodificación de las tramas del sensor cinemático FURUNO GP-7000F. En las señales de entrada se tienen “f4800” que es el reloj de trabajo para los sensores de 4800 baudios, la señal “reset” asíncrona y “RX” que es la señal receptora del puerto serial de la FPGA. A la salida tenemos las señales “T1_GPS_E”, “T2_GPS_E” que indican cuando una trama ha sido decodificada, y por último “Dout_GPS_E” que transmite los datos al bloque testSender. Se puede observar en la figura 3.13.

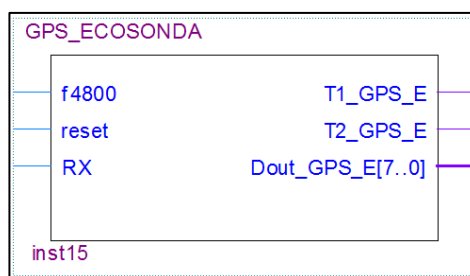


Figura 3.13. Bloque GPS_ECOSONDA.

Bloque interno GPS_ECOSONDA

El bloque GPS_ECOSONDA está compuesto por los bloques UART, Codificador_GPS_E, Controlador_UART, Contador_5bits y Comparador_5bits. Se puede observar en la figura 3.14.

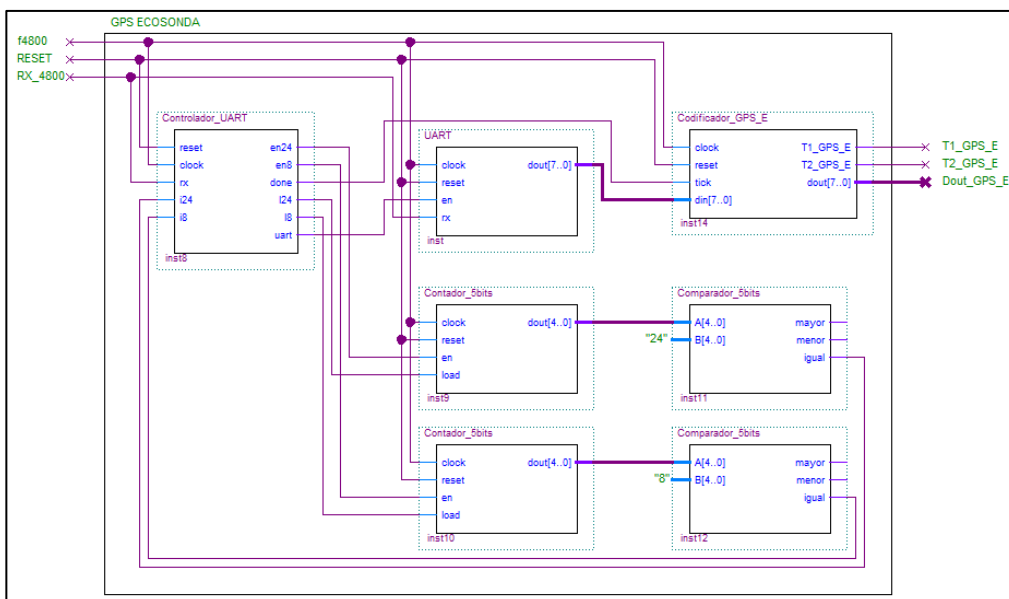


Figura 3.14. Bloque interno GPS_ECOSONDA.

Codificador_GPS_E

El bloque Codificador_EM se encarga de recibir la información del UART byte a byte e ir decodificando las tramas para separar la información útil. Se requiere analizar 2 tramas. Se puede observar en la figura 3.15.

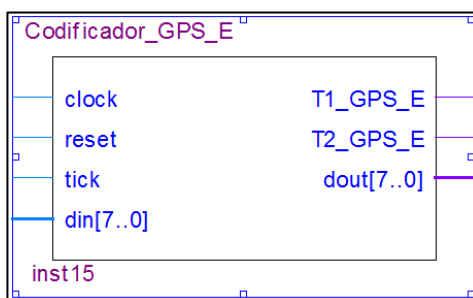


Figura 3.15. Bloque Codificador_GPS_E.

PLATAFORMA_INERCIAL

El bloque PLATAFORMA_INERCIAL se encarga de la recepción y decodificación de las tramas del sensor cinemático SIGMA 40. En las señales de entrada se tienen “f38400” que es el reloj de trabajo para los sensores de 38400 baudios, la señal “reset” asíncrona y “RX” que es la señal receptora del puerto serial de la FPGA. A la salida tenemos las señales “T1_PI”, “T2_PI”, “T3_PI” que indican cuando una trama ha sido decodificada, y por último “Dout_PI” que transmite los datos al bloque testSender. Se puede observar en la figura 3.16.

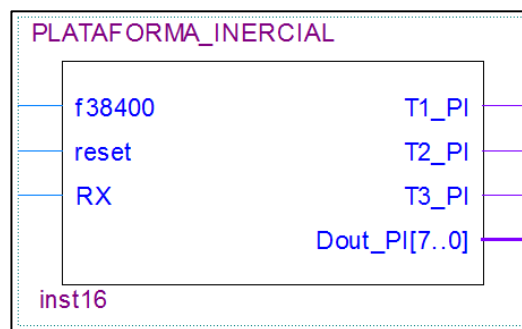


Figura 3.16. Bloque PLATAFORMA_INERCIAL.

Bloque interno PLATAFORMA_INERCIAL

El bloque PLATAFORMA_INERCIAL está compuesto por los bloques UART, Codificador_PLATAFORMA_INERCIAL, Controlador_UART, Contador_5bits, Comparador_5bits, ascii_hex, unir_hex, Heading_codificador, hex_ascii, Counter, Roll_Pitch_Codificador y Transmisor_ethernet. Se puede observar en la figura 3.17.

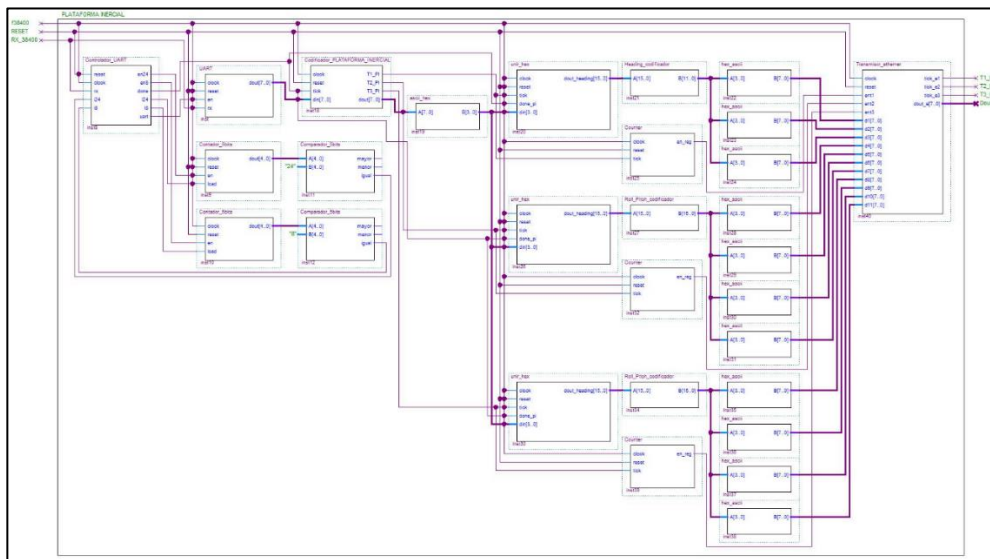


Figura 3.17. Bloque interno PLATAFORMA INERCIAL.

Codificador_PLATAFORMA_INERCIAL

El bloque Codificador_PLATAFORMA_INERCIAL se encarga de recibir la información del UART byte a byte e ir decodificando las tramas para separar la información útil. Se requiere analizar 1 trama. Se puede observar en la figura 3.18.

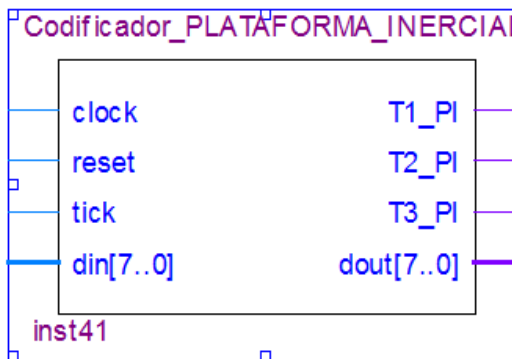


Figura 3.18. Bloque Codificador_PLATAFORMA_INERCIAL.

ascii_hex

El bloque ascii_hex se encarga de la conversión del byte representado en Ascii a un valor hexadecimal. Se puede observar en la figura 3.19.

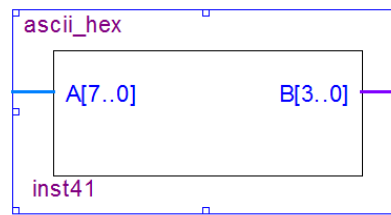


Figura 3.19. Bloque ascii_hex.

unir_hex

El bloque unir_hex se encarga de unir los datos ya convertidos en hexadecimal, para crear un número en representación hexadecimal. Se puede observar en la figura 3.20.

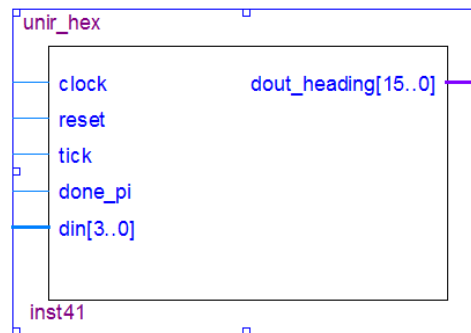


Figura 3.20. Bloque unir_hex.

Heading_codificador

El bloque Heading_codificador se encarga de escalar el valor del número hexadecimal a un número entre 0 y 5 en hexadecimal. Se puede observar en la figura 3.21.

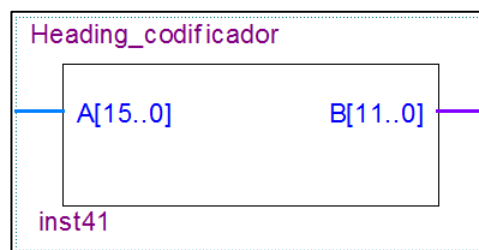


Figura 3.21. Bloque Heading_codificador.

Roll_Pitch_codificador

El bloque Roll_Pitch_codificador se encarga de escalar el valor del número hexadecimal a un número entre -5 y 5 en hexadecimal. Se puede observar en la figura 3.22.

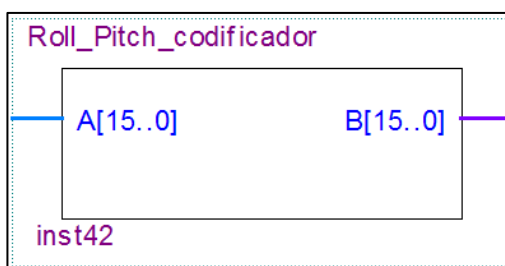


Figura 3.22. Bloque Roll_Pitch_codificador.

hex_ascii

El bloque hex_ascii se encarga de transformar un número hexadecimal a su valor en Ascii. Se puede observar en la figura 3.23.

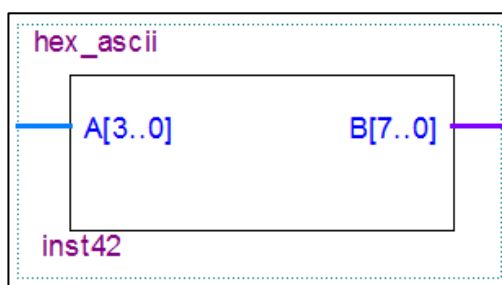


Figura 3.23. Bloque hex_ascii.

Counter

El bloque Counter se encarga de contar flancos de reloj para la transmisión de los datos de la Plataforma_Inercial. Se puede observar en la figura 3.24.

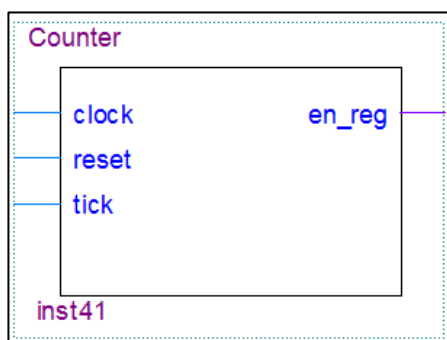


Figura 3.24. Bloque Counter.

Transmisor_ethernet

El bloque Transmisor_ethernet se encarga de recibir los resultados de la decodificación de la Plataforma Inercial para transmitir al bloque testSender. Se puede observar en la figura 3.25.

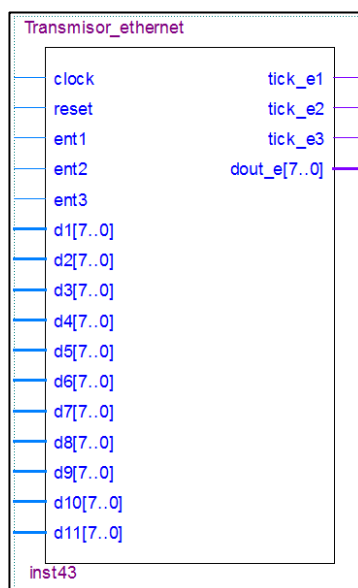


Figura 3.25. Bloque Transmisor_ethernet.

testSender

El bloque testSender se encarga de la transmisión de datos vía ethernet por medio del protocolo UDP. Hace la recepción de todos los datos decodificados de las tramas de los sensores cinemáticos. En las señales de entrada se tienen "clk50" que es el reloj de la FPGA de 50MHz, "Din_GPS_E" que son los datos

decodificados del sensor GPS Ecosonda, “T1_GPS_E”, “T2_GPS_E” son señales que indican la decodificación de las dos tramas importantes del GPS Ecosonda, “Din_EM” que son los datos decodificados del sensor Estación Meteorológica, “T1_EM”, “T2_EM”, “T3_EM”, “T4_EM” son señales que indican la decodificación de las cuatro tramas importantes de la Estación Meteorológica, “Din_PI” que son los datos decodificados del sensor Plataforma Inercial, “T1_PI”, “T2_PI”, “T3_PI” son señales que indican la decodificación de la trama de la Plataforma Inercial y la señal “TX_CLK” para el reloj interno del transmisor ethernet de 25MHZ. En las señales de salida tenemos “TX_EN” para la habilitación de la transmisión ethernet y “TX_DATA” para transmitir los datos. Se puede observar en la figura 3.26.

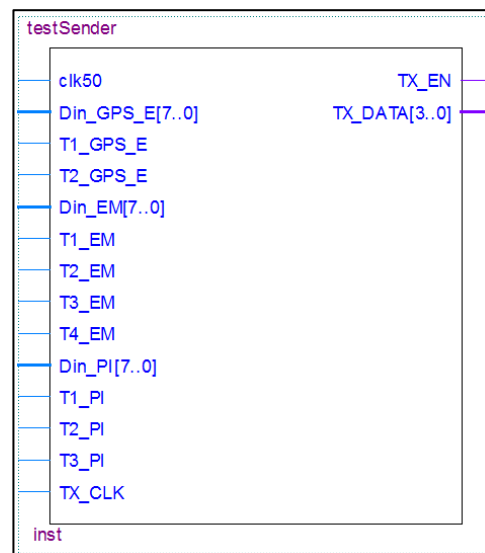


Figura 3.26. Bloque testSender.

Bloque interno testSender

El bloque testSender está compuesto por los bloques UDPSender y ram1k. Se puede observar en la figura 3.27.

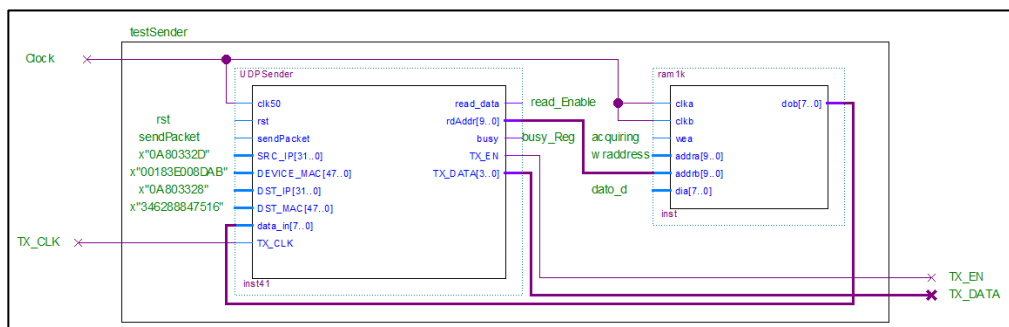


Figura 3.27. Bloque interno testSender.

UdpSender

El bloque UdpSender se encarga de la transmisión de los paquetes UDP, se requiere conocer la dirección IP y la dirección MAC de la tarjeta FPGA y la dirección IP y la dirección MAC del destino, en este caso del computador central. Se puede observar en la figura 3.28.

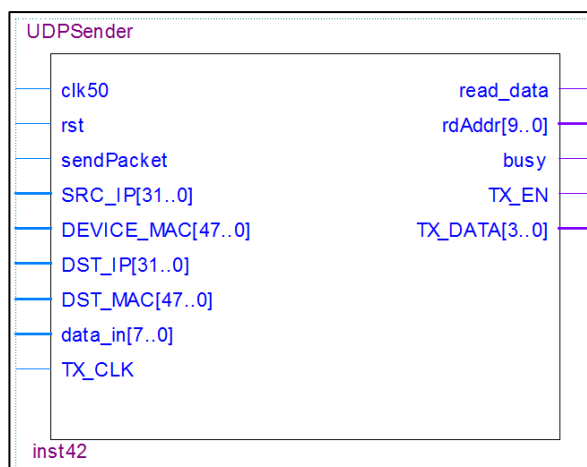


Figura 3.28. Bloque UDPSender.

Bloque interno UDPSender

El bloque UDPSender está compuesto de los bloques ethernetSnd y checksum_cal. Se puede observar en la figura 3.29.

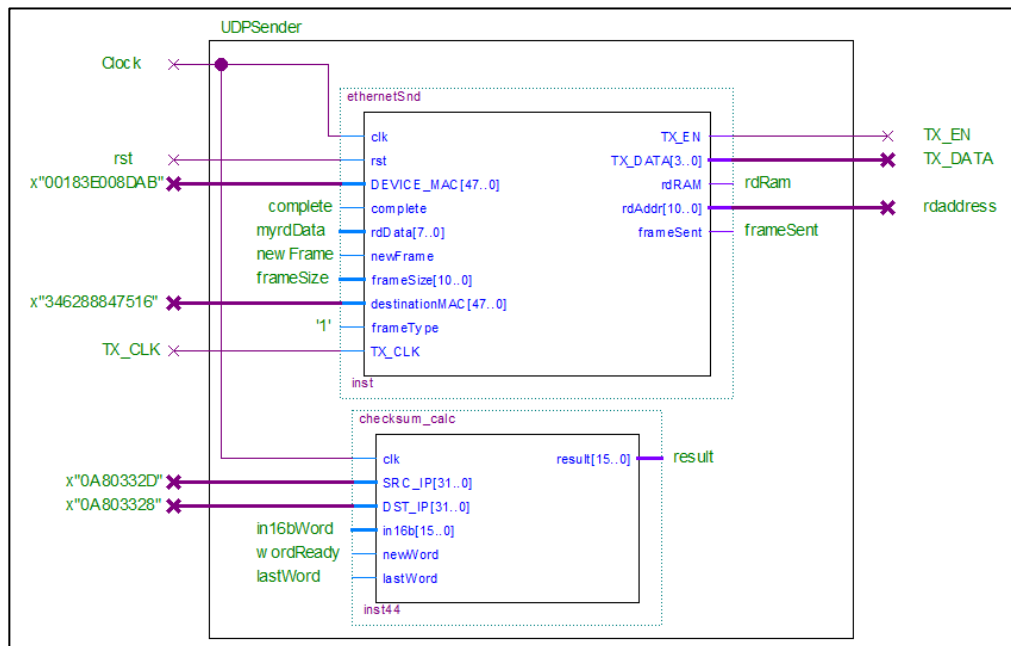


Figura 3.29. Bloque interno UDPSender.

checksum_calc

El bloque checksum_calc se encarga de realizar el cálculo del checksum de la cabecera del protocolo UDP. Se puede observar en la figura 3.30.

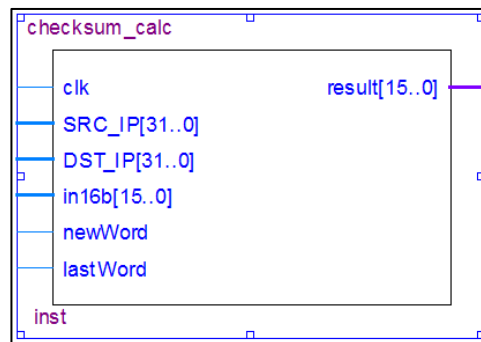


Figura 3.30. Bloque checksum_calc.

ethernetSnd

El bloque ethernetSnd se encarga de enviar las estructuras de información al chip encargado de la transmisión ethernet de la tarjeta de desarrollo. Se puede observar en la figura 3.31.

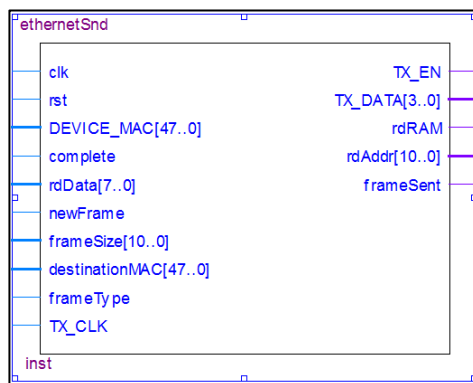


Figura 3.31. Bloque ethernetSnd.

Bloque interno ethernetSnd

El bloque ethernetSnd esta compuesto por el bloque crcGenerator. Se puede observar en la figura 3.32.

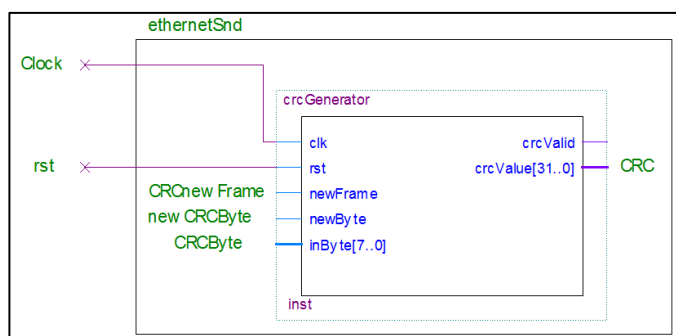


Figura 3.32. Bloque interno ethernetSnd.

crcGenerator

El bloque crcGenerator se encarga de calcular el valor CRC para la salida de bytes para la transmisión ethernet. Se puede observar en la figura 3.33.

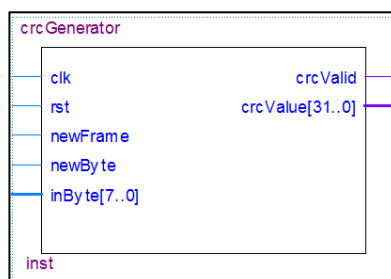


Figura 3.33. Bloque crcGenerator.

ram1k

El bloque ram1k se encarga de almacenar todos los datos decodificados de las tramas de los sensores para luego ser transmitidos vía ethernet. Se puede observar en la figura 3.34.

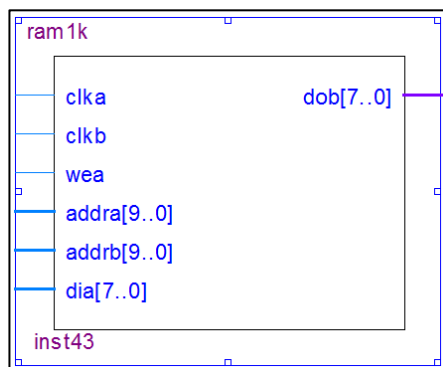


Figura 3.34. Bloque ram1k.

3.2 Simulador de Tramas realizado en LABVIEW

Para la implementación del proyecto se realizaron dos simuladores de tramas de los Sensores Cinemáticos. Un simulador envía tramas a 4800 baudios y se lo puede observar en la Figura 3.35, y el otro simulador envía tramas a 38400 baudios y se observa en la Figura 3.36.

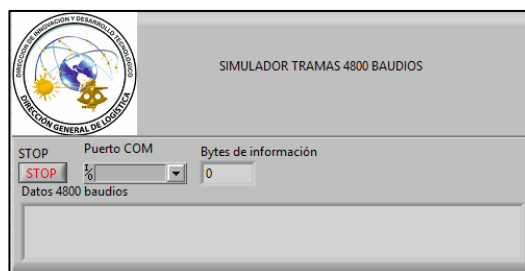


Figura 3.35. Simulador de tramas a 4800 baudios.

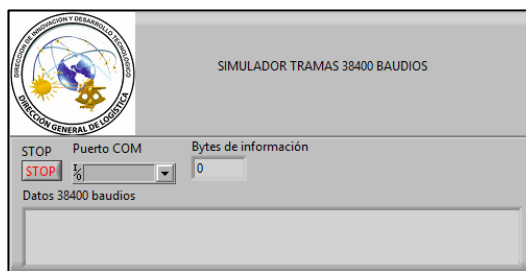


Figura 3.36. Simulador de tramas a 38400 baudios.

Para la transmisión Serial es necesario usar los bloques VISA Configure Serial Port, en el cual se especifica cuál es el puerto COM de transmisión y también el ratio de baudios de la transmisión. VISA Open, VISA Close y VISA Write se encargan de abrir la transmisión, enviar las tramas que deben ser enviadas y cerrar la transmisión. En la Figura 3.37 se tiene la programación de la transmisión serial.

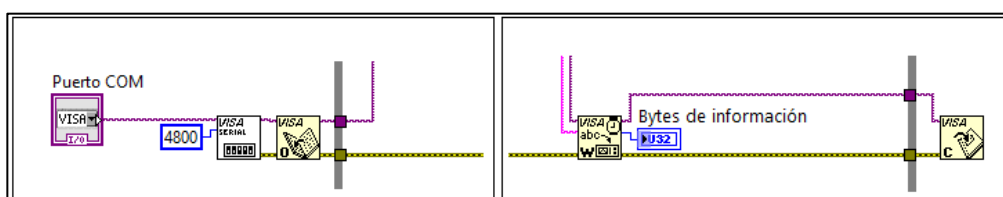


Figura 3.37. Programación en Labview para transmisión serial.

3.3 Receptor de datos UDP y Transmisor de datos TCP/IP del Computador Central realizado en LABVIEW.

Se desarrolló una interfaz gráfica (puede ser observada en la Figura 3.38) en LABVIEW que contiene la recepción de datos transmitidos vía UDP, para luego ser transmitidos vía TCP/IP, además de internamente almacenar los datos en una base de datos.

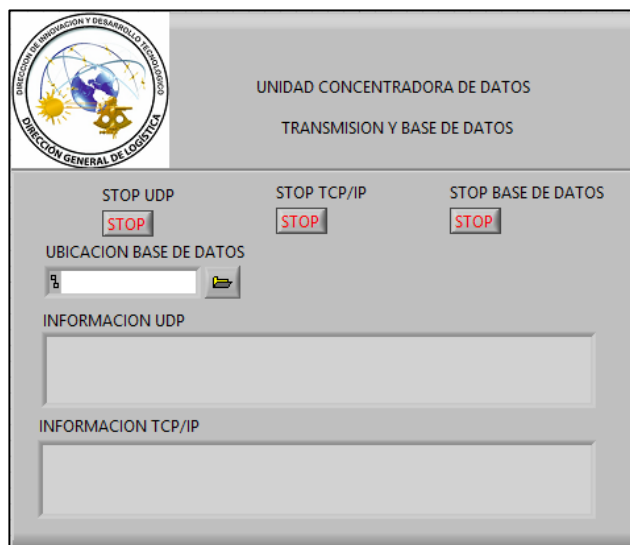


Figura 3.38. Interfaz Gráfica del Computador Central.

En el Computador Central se realiza la adquisición de datos de la FPGA que transmite la información a través del protocolo de comunicación UDP. En la Figura 3.39 se tiene la programación para la adquisición en LABVIEW. Se hace uso de los bloques UDP Open, UDP Read y UDP Close, para abrir la conexión, leer los datos y cerrar la conexión.

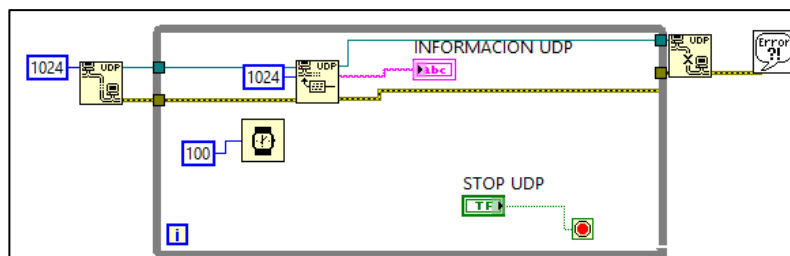


Figura 3.39. Programación en LABVIEW para recepción de datos UDP.

Para poder transmitir a las Pantallas de National Instruments se debe transmitir mediante el protocolo de comunicación TCP/IP. En la Figura 3.40 se tiene la programación para el envío de los datos en TCP/IP. Hacemos uso de los bloques TCP Listen, TCP Write y TCP Close Connection, para empezar la transmisión, el envío de datos y cerrar la transmisión.

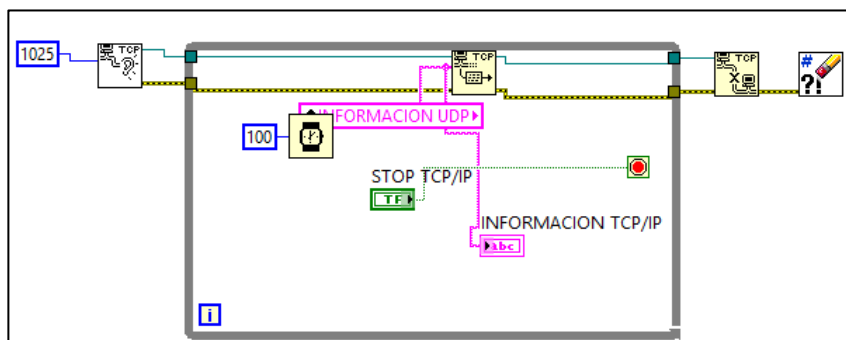


Figura 3.40. Programación en LABVIEW para la transmisión de datos vía TCP/IP.

3.4 Receptor de datos TCP/IP de las Pantallas de National Instruments realizado en LABVIEW.

La interfaz gráfica creada para la observación de los datos en las Pantallas de National Instruments se puede observar en la Figura 3:41.

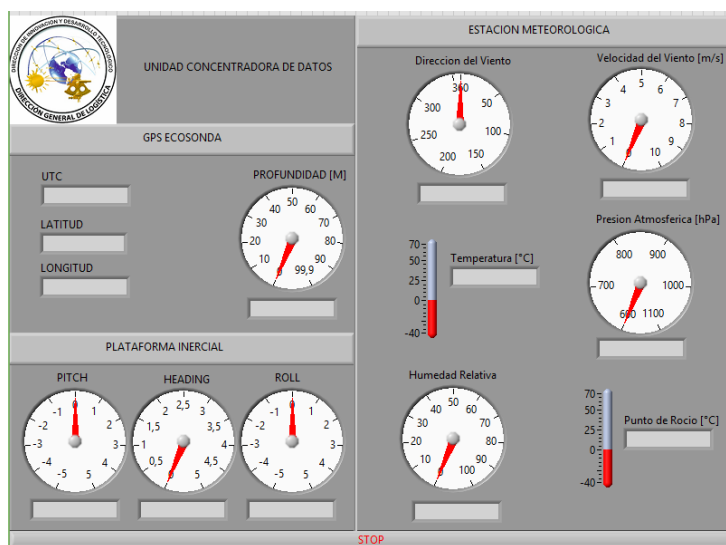


Figura 3.41. Interfaz Gráfica para las Pantallas de National Instruments.

Los bloques utilizados son TCP Open Connection, TCP Read y TCP Close Connection. Dentro de la programación se separan los datos para que sean visualizados mediante indicador, en la Figura 3.42 se puede observar la programación gráfica.

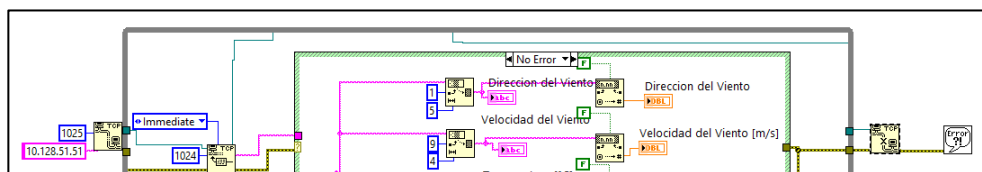


Figura 3.42. Programación en LABVIEW para la recepción de datos vía TCP/IP.

3.5 Base de datos del Computador Central realizado en LABVIEW.

La base de datos implementada en el proyecto es realizada en Microsoft Access, en LABVIEW hacemos uso de los bloques DB Tools Open Connection para iniciar la conexión con el servidor, DB Tools Insert Data para ingresar los datos de los sensores cinemáticos y DB Tools Close Connection para cerrar la conexión, en la Figura 3.43 podemos observar la programación.

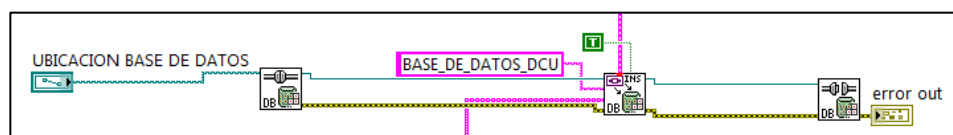


Figura 3.43. Programación en LABVIEW para la creación de Base de Datos.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS.

En la figura 4.1 tenemos las conexiones en la Tarjeta de Desarrollo, hacemos uso de los Puertos Serie y el puerto Ethernet.

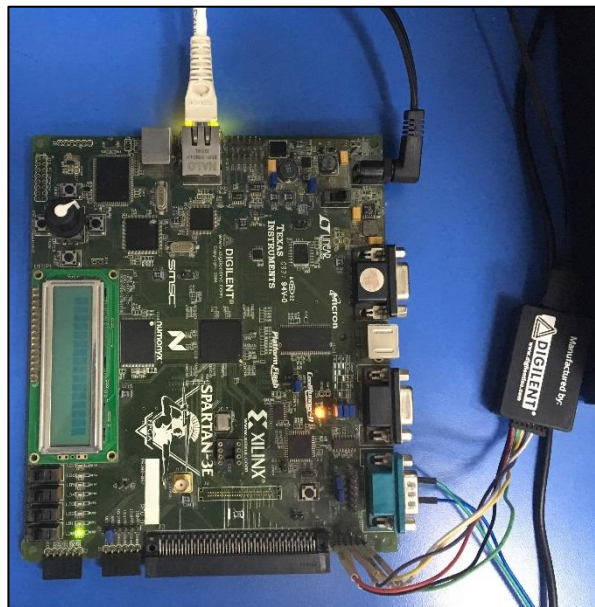


Figura 4.1. Tarjeta de Desarrollo Spartan 3E Starter Board.

Haciendo uso del programa Wireshark se pueden observar todos los paquetes de información que envía la tarjeta de desarrollo Spartan 3E. La tarjeta tiene asignada la dirección IP 10.128.51.45 y el destino que es el computador central tiene la dirección IP 10.128.51.40. Se puede observar que el protocolo usado para la comunicación es UDP, además del ancho del mensaje es de 1066 bytes que incluye la cabecera y los datos de información que se compone de 1024 bytes. En la Figura 4.2 se tiene la captura de datos.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1929	1329.963169	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1930	1331.676380	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1932	1333.414444	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1933	1335.127077	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1935	1336.839941	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1936	1338.577277	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1938	1340.290351	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1940	1342.027806	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1942	1343.740837	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1945	1345.478237	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1946	1347.191332	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1948	1348.928592	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1949	1350.641805	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1951	1352.379111	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1953	1354.092239	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1954	1355.829504	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1956	1357.542739	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1957	1359.256428	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1959	1360.993112	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1960	1362.706239	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1962	1364.443560	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1964	1366.156690	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1965	1367.894306	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1967	1369.607158	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1968	1371.344535	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1970	1373.057620	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1971	1374.794924	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1973	1376.508115	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1975	1378.245498	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1976	1379.958522	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1978	1381.671821	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024
1979	1383.409073	10.128.51.45	10.128.51.40	UDP	1066	1024 → 1024 Len=1024

▶ Frame 1929: 1066 bytes on wire (8528 bits), 1066 bytes captured (8528 bits) on interface 0
 ▶ Ethernet II, Src: Digilent_00:8d:ab (00:18:3e:00:8d:ab), Dst: Cisco_84:75:16 (34:62:88:84:75:16)
 ▶ Internet Protocol Version 4, Src: 10.128.51.45, Dst: 10.128.51.40
 ▶ User Datagram Protocol, Src Port: 1024, Dst Port: 1024

```

0000  34 62 88 84 75 16 00 18  3e 00 8d ab 08 00 45 00  4b.u... >....E.
0010  04 1c b3 fe 00 00 00 11  07 7e 0a 80 33 2d 0a 80  .....~..3-..
0020  33 28 04 00 04 00 04 08  00 00 00 31 35 32 2e 39  3(.....152.9
0030  00 00 00 30 31 2e 31 00  00 00 00 30 36 32 2e 37  ..01.1. ...062.7
0040  00 30 33 38 2e 38 00 00  2d 32 38 2e 38 00 30 38  .038.8...-28.808
0050  30 35 2e 39 00 00 00 00  00 00 32 30 30 32 2e 36  05.9....2002.6
  
```

Figura 4.2. Ventana del programa Wireshark, para la toma de datos UDP.

A continuación, se tienen las pantallas de simulación, transmisión y de muestras creadas en LabVIEW. En la Figura 4.3 y 4.4 se tienen los simuladores de tramas de los sensores cinemáticos. En la figura 4.5 se tiene la recepción de los datos UDP para luego transmitirlos vía TCP/IP, además de la creación de la base de datos. En la Figura 4.6 se tiene la interfaz de la Unidad Concentradora de Datos que será visualizada en las pantallas de National Instruments.

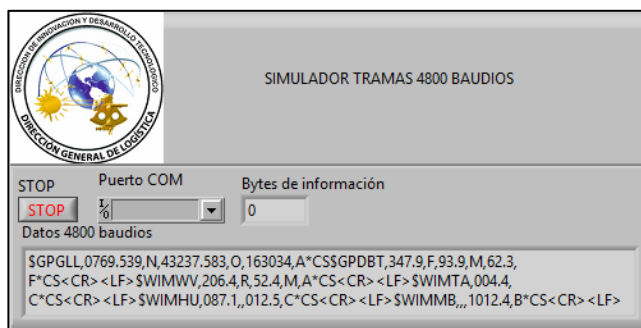


Figura 4.3. Simulador de tramas de sensores cinemáticos de 4800 baudios.

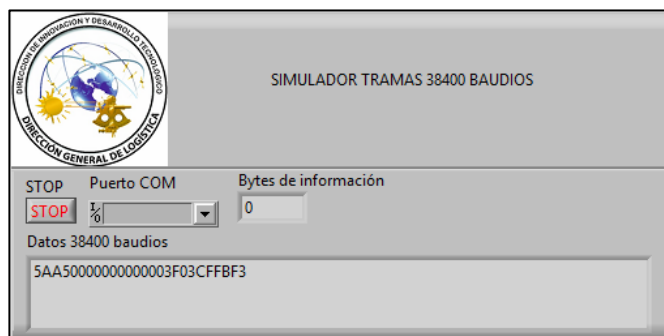


Figura 4.4. Simulador de tramas de sensores cinemáticos de 38400 baudios.

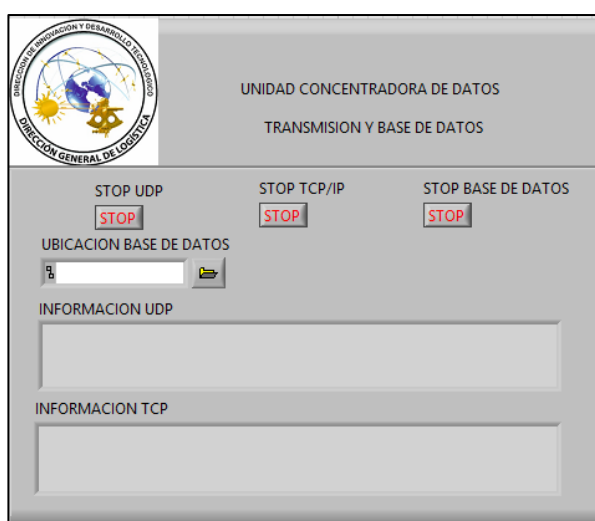


Figura 4.5. Transmisor de datos UDP a TCP/IP y Base de Datos.

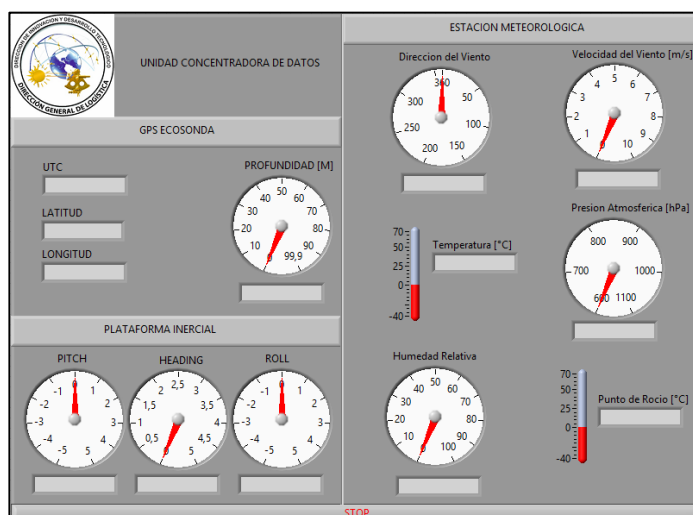


Figura 4.6. Interfaz para pantallas de National Instruments.

En la figura 4.7 se tiene la Base de Datos de Información que almacena todos los datos de los sensores cinemáticos de los buques. Estos datos son útiles porque son usados en los simuladores que tiene la Armada del Ecuador

DV	VV	T	HR	POR	PB	L	LO	UTC	P	H	R	PI
011.1	77.6	0-8.6	047.2	-25.6	1022.0	98°93.256'N	607°14.805'V	07:08:52	98.8	0.17	04.99	-0.21
011.3	19.4	028.3	067.5	-18.8	0981.3	99°09.686'N	033°10.425'V	05:24:30	85.6	1.90	04.63	-4.05
019.2	68.7	067.1	017.1	-21.8	0607.8	68°82.669'N	333°49.070'V	09:09:12	42.8	4.07	02.52	-4.40
043.6	03.4	017.1	064.1	003.2	0810.8	85°98.330'N	453°99.948'V	20:12:44	92.7	1.52	03.43	-0.67
046.1	52.4	009.8	081.1	-10.4	1078.8	23°70.058'N	985°97.084'V	14:30:02	37.7	2.70	02.74	-2.10
046.9	47.2	032.1	083.1	-16.0	0606.3	24°47.792'N	747°90.367'V	09:07:36	90.3	4.30	03.66	-0.79
049.8	27.6	0-6.1	049.2	0-2.7	0685.5	39°40.426'N	483°90.340'V	15:49:13	10.6	4.13	01.37	-2.71
054.4	02.2	024.4	070.1	020.7	0938.6	57°81.774'N	525°28.768'V	20:22:01	30.1	4.37	01.72	-0.05
056.7	81.7	019.4	043.3	-36.4	0948.5	82°32.491'N	482°10.462'V	19:13:01	84.5	1.41	02.64	-0.14
062.4	72.8	-25.5	081.2	-27.0	0677.8	37°05.873'N	327°48.863'V	04:19:30	49.8	4.11	04.51	-3.64
068.7	06.5	037.7	052.3	060.5	0857.3	68°09.928'N	595°23.433'V	03:52:12	85.8	3.59	02.70	-1.15
072.4	41.8	0-6.6	028.8	057.8	0957.3	95°42.820'N	876°90.550'V	20:28:27	69.8	3.08	03.59	-1.14
101.3	53.7	052.8	026.3	011.8	1063.0	16°94.669'N	305°91.135'V	15:20:47	11.2	4.64	04.78	-1.57
108.6	32.2	0-3.3	051.8	-31.7	1017.8	79°43.543'N	104°84.303'V	01:37:45	08.7	2.36	02.33	-4.13
119.5	44.0	059.8	072.2	059.5	0818.0	57°92.863'N	183°65.330'V	01:20:26	77.4	2.03	03.25	-1.05
139.7	64.5	058.4	061.2	-32.2	0992.9	37°60.919'N	057°81.294'V	06:22:47	24.3	2.86	01.98	-4.13
141.3	62.7	004.8	027.7	0-2.5	0929.0	97°07.557'N	176°58.757'V	14:25:02	18.6	3.92	04.51	-0.83
153.6	31.2	042.7	008.3	038.8	0760.4	86°76.771'N	485°92.658'V	09:03:41	23.4	2.23	02.25	-0.13
160.4	48.2	065.7	094.5	-17.3	0787.5	85°53.293'N	660°46.010'V	12:43:55	74.0	1.53	01.22	-3.48
160.7	27.8	056.3	031.5	-34.3	0951.8	98°21.098'N	272°40.357'V	03:08:08	13.1	1.64	01.79	-2.73
164.2	03.1	006.3	082.3	058.6	0872.1	13°63.050'N	366°78.490'V	07:32:47	84.7	4.43	01.24	-3.02
172.1	34.4	058.9	048.4	054.9	0699.4	07°45.568'N	811°62.240'V	16:38:48	31.4	1.52	01.87	-0.91
174.3	70.3	043.9	088.4	117.6	0784.1	34°72.769'N	930°99.884'V	03:36:03	72.4	4.24	01.43	-2.24
179.3	51.8	054.1	083.0	028.1	0965.6	14°03.968'N	202°29.878'V	06:55:38	63.2	0.92	02.77	-1.08
179.5	58.6	041.4	094.0	006.4	0647.5	66°21.050'N	076°74.498'V	07:53:53	07.6	4.84	04.14	-4.36
191.5	35.8	0-2.7	080.0	-37.4	0626.4	65°68.164'N	132°01.075'V	02:46:10	16.2	3.03	02.22	-3.19
193.2	71.6	054.1	045.9	001.7	0927.0	61°63.116'N	455°83.082'V	22:07:11	80.4	3.57	01.06	-0.55
194.1	63.6	0-1.7	020.4	0-3.8	1017.7	85°33.174'N	424°48.844'V	07:05:06	03.2	3.32	01.88	-1.43
194.7	70.5	011.8	016.6	053.5	1008.6	54°87.496'N	429°53.760'V	05:53:07	97.6	1.20	01.10	-4.86
202.3	75.2	017.1	096.3	011.3	0961.5	21°76.162'N	995°92.836'V	06:47:48	70.1	2.60	06.60	-3.36
203.1	80.3	-37.3	026.7	136.6	0864.7	95°28.203'N	640°88.891'V	21:50:04	25.3	4.06	01.82	-1.34
208.6	26.5	053.6	050.0	044.1	0725.1	67°37.325'N	351°02.812'V	16:15:45	46.3	2.48	04.41	-3.54

Figura 4.7. Base de Datos implementada en Microsoft Access.

La información del computador central pasa a las pantallas de National Instruments, que estarán ubicadas en las salas de mando y control. En la figura 4.8 se puede observar el funcionamiento de la Interfaz de la Unidad Concentradora de Datos.

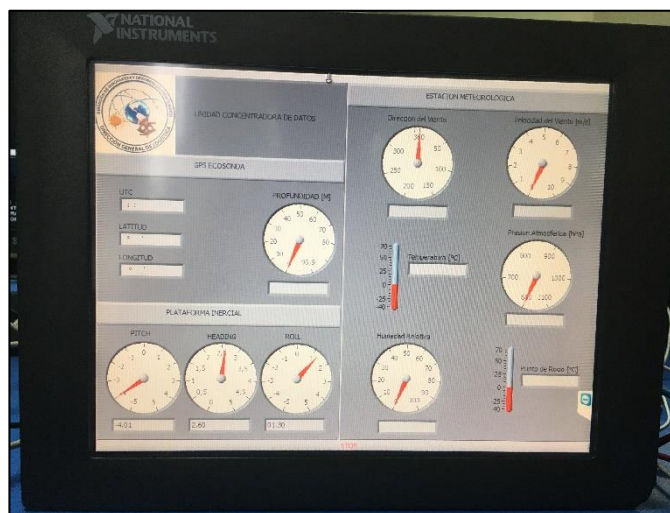


Figura 4.8. Resultado del proyecto visto en las pantallas de National Instruments.

Análisis de Costos

El proyecto fue finalizado en un lapso de un mes trabajando 8 horas diarias. Se asume un costo de 10 dólares por hora. Dando un total de \$1600 dólares

En la **Tabla 11**, se presentará los costos de los equipos con los que se trabajó.

Equipos	Cantidad	Precio por Unidad (Dólares)	Total (Dólares)
Spartan 3E Starter Board	1	\$148.99	\$148.99
Computador	1	699.99	699.99
National Instruments TCP-2106 HMI Touch Screen	2	399.99	799.98
Cable Serial DB9	2	10.00	20.00
Subtotal			\$1668.96
Total (Mano de Obra)			\$3268.96

Tabla 11. Costos de equipos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los problemas de los anteriores equipos sobre el gran tamaño que ocupan y el valor económico que cuesta adquirirlos y repararlos en caso de fallas, debido a que una sola tarjeta de National Instruments supera los miles de dólares, la solución que se ofrece mediante una tarjeta de desarrollo con FPGA demuestra ser más barato. En un solo procesador se puede realizar todo el trabajo que realizan las tarjetas de National Instruments.

Para futuros sensores cinemáticos conectados al equipo se debe identificar las tramas de datos que son de mayor importancia, también es necesario conocer la velocidad de transmisión de los datos seriales, para poder configurar el reloj síncrono encargado de la recepción, decodificación y transmisión en la FPGA.

Para la comunicación UDP entre la FPGA y el Computador Central es necesario especificar la dirección IP y la dirección MAC de los dos equipos, porque sin esto no se puede transmitir ningún dato. Para proyectos futuros se aconseja cambiar la comunicación UDP por la comunicación TCP/IP para no hacer uso del Computador Central.

En el Computador Central es necesario tener un software capaz de recibir los paquetes de datos de la comunicación UDP, en el proyecto se usó el software libre Wireshark que se encarga de recibir los paquetes y así poderlos observar en la interfaz gráfica creada en LABVIEW. Se recomienda iniciar con la recepción UDP, establecer el inicio de las comunicaciones TCP/IP en las Pantallas de National Instruments, porque si no el programa entra en modo STOP al no recibir respuesta de envío de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Clarke Coole, (2017). Furuno GP-700F Review Chartplotter Fishfinder Combo [online]. Disponible en: <http://marine-electronics-reviews.com/furuno-gp7000f.html>.
- [2] Operating Manual Static weather sensor QUATRO-IND (1642), LAMBRECHT GmbH, Germany, p1.
- [3] Safran Electronics & Defense, (2017). Navigation systems [online]. Disponible en: <https://www.safran-electronics-defense.com/naval-solutions/surface-vessels/navigation-systems>.
- [4] Jefferson C., (2012, marzo). Conexión sincrónica y asincrónica [online]. Disponible en: <http://jeffersonco2008.blogspot.com/2012/03/conexion-sincronica-y-asico.html>.
- [5] Wikipedia, (2017, mayo). User Datagram Protocol [online]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol.
- [6] SparkFun Electronics Inc, (2012). Xilinx Spartan-3E (XC3S500E) [online]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/products/retired/11657>.