

# Informe Final: “Estabilizador Digital de Vuelo”

Juan C. Calderón , Sharon D. Peñaloza

{jccalderond, sdpenalozar}@unal.edu.co

Electrónica Digital I

**Resumen**—En este documento se ilustran los diseños, simulaciones y resultados obtenidos de un proyecto que se basa en el diseño de un sistema de control de vuelo por medio de circuitos digitales. Así mismo, se comentan los problemas que surgieron en el desarrollo de cada etapa con el fin de optimizar futuros proyectos relacionados.

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más críticos relacionado con los vehículos aéreos se produce en el momento posterior al ascenso, es decir, cuando el vehículo toma una posición a una altura determinada en el plan de vuelo. El problema radica en la capacidad del vehículo para mantenerse nivelado y en una posición recta ya que muchos factores tanto internos como externos influyen en la estabilidad del mismo. A pesar de que los accidentes en medios de transporte no tienen una alta probabilidad de ocurrencia como los terrestres [1], éstos tienen un mayor impacto. Debido a esto, en este proyecto se propone disminuir estos accidentes por medio de otras herramientas disponibles, como es el caso de la electrónica digital con el uso de periféricos como: un giroscopio por medio del protocolo SPI, pantalla LCD, servomotores y conversor A/D.

### I-A. Descripción del problema

Los accidentes en vehículos aéreos tripulados tienen una baja tasa de accidentalidad comparados con los demás medios de transporte tal como se puede observar en la Figura 1.

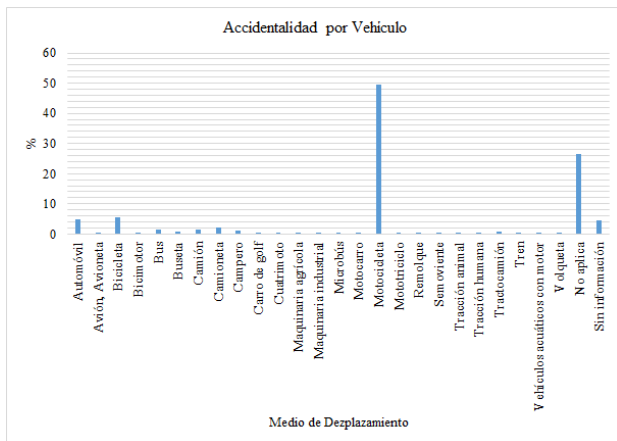


Figura 1. Porcentaje de accidentalidad por tipo de vehículo [1].

Aún así son muy comunes incidentes graves debido a factores como [2]:

- Incapacidad de lograr el desempeño previsto durante el recorrido de despegue o el ascenso inicial.

- Mal funcionamiento de uno o más sistemas de la aeronave que afecten gravemente el funcionamiento de ésta.
- Fallas de los sistemas debido a fenómenos meteorológicos, operaciones efectuadas fuera de la envolvente de vuelo aprobada, u otros acontecimientos que ocasionan dificultades para controlar la aeronave.

Como se puede evidenciar, uno de los principales factores de riesgo es la inestabilidad del vehículo debido a las condiciones ya mencionadas; Este desequilibrio puede causar accidentes cuando no se reacciona a tiempo ya que los sistemas mecánicos son de menor velocidad de respuesta a comparación de los sistemas digitales. Además de esto, otro inconveniente que no permite la estabilización inmediata es la intervención inoportuna del operario ante una perturbación, por ello se encuentra la necesidad de aumentar la velocidad de respuesta del vehículo mediante sistemas de control digital.

### I-B. Motivación y Justificación.

Como se puede observar en la subsección I A., varios de los accidentes se presentan debido a la inestabilidad que pueda llegar a tener el vehículo tripulado o no tripulado, por esta razón, se propone este sistema de control digital con el fin de estabilizar más rápido el vehículo. Además de esto, debido al auge que actualmente tiene el uso de vehículos no tripulados es importante reducir aún mas la tasa de accidentalidad para ofrecer una mayor seguridad a las personas que se encuentren cercanas a la trayectoria del dispositivo, además de reducir costos producto de los accidentes que estos puedan provocar, para este fin, este proyecto se basa en la reducción del tiempo de respuesta del sistema de control ante un desbalanceo proveniente de cualquier fuente.

## II. MARCO TEÓRICO

### II-A. Protocolo SPI

Es un bus síncrono de comunicación serial que usa 4 conductores para la comunicación entre un dispositivo "maestro" un "esclavo" de manera dual como se observa en la Fig. 2, es decir, ambos dispositivos reciben y envían datos entre sí a una velocidad de transferencia de 10 Mbps. Este protocolo fue desarrollado por Motorola [3]. Las cuatro señales presentes son:

- **MOSI**: (Master out slave in) es iniciado por el maestro y recibido por el esclavo.
- **MISO**: (Master in slave out) es iniciado por el esclavo y recibido por el maestro.
- **SCLK**: (Serial clock) es generado por el maestro para sincronización de la transferencia de datos.

- SS: (Slave select) es generado por el maestro para seleccionar a un solo esclavo.

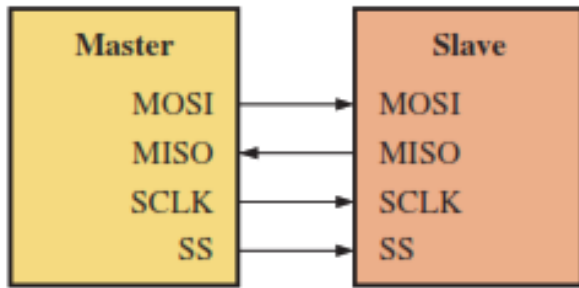


Figura 2. Configuración SPI [3].

### II-B. Conversión Análogo-Digital (ADC)

Es el proceso de convertir la salida de muestreo y sostener a una serie de código binario que representa la amplitud de la entrada análoga como se observa en la Fig. 3. Este muestreo mantiene constante la entrada análoga hasta el siguiente pulso de muestreo. El proceso de convertir de un valor análogo a código se llama *cuantización*, durante este proceso, el ADC convierte cada muestra en un código binario de tal manera que con mayor número de bits, mejor será la representación.

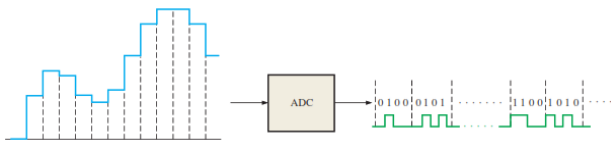


Figura 3. Muestreo señal análoga [3].

## III. OBJETIVOS

### III-A. General

Diseñar un sistema de control digital que mantenga la estabilidad de vuelo de vehículos aéreos tripulados y no tripulados.

### III-B. Específicos

- Implementar un sistema de detección de ángulo máximo de giro en los ejes coordenados X y Y mediante el uso de potenciómetros y un conversor A/D.
- Indicar mediante una barra de leds el eje coordenado en el cual es vehículo aéreo se encuentra excesivamente inclinado.
- Implementar un módulo de control automático mediante el uso de servomotores que permitan retornar el vehículo a la posición de equilibrio.
- Disminuir el tiempo de respuesta del vehículo ante perturbaciones externas.

## IV. DESARROLLO Y METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Inicialmente, para el desarrollo del proyecto, se diseñó el diagrama de bloques que se muestra en la Fig.4.

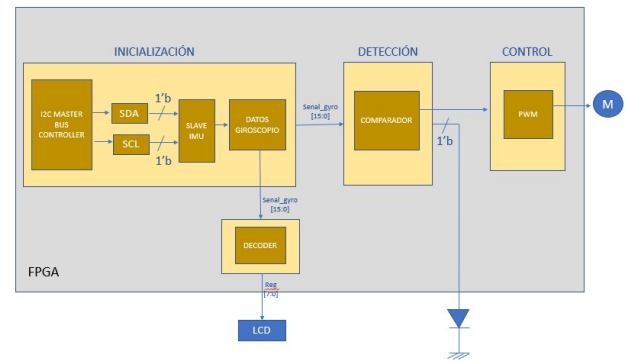


Figura 4. Módulos de desarrollo del proyecto.

Pero, debido a los cambios que se tuvieron que realizar en el transcurso del proyecto, el diagrama de bloques se replanteó tal como se muestra en la Fig. 5.

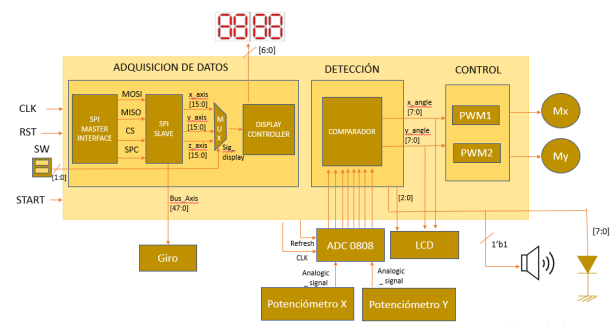


Figura 5. Módulos de desarrollo del proyecto.

Como se muestra en la Fig. 5, el módulo de adquisición de datos no conecta con ninguno de los otros, esto se debe a que la salida de éste se usa simplemente como indicador de velocidad angular. En el bloque de detección se controla la mayoría de los periféricos ya que en este se reciben los datos del ADC para después enviar las salidas correspondientes a la LCD, los servomotores, el buzzer y los leds.

## V. LINEA DE TIEMPO

Para la realización del proyecto, se tuvo en cuenta la siguiente línea de tiempo:

### V-1. Semana del 26 de Septiembre:

- Presentación de propuesta de proyecto.

### V-2. Semana del 6 de diciembre:

- Simulación del protocolo SPI.
- Adaptación del código de la LCD.

### V-3. Semana del 12 de diciembre:

- Caracterización del giroscopio.

### V-4. Semana del 16 de enero:

- Caracterización de servomotores.
- Implementación etapa de adquisición de datos.

### V-5. Semana del 23 de enero:

- Caracterización de los potenciómetros.
- Adaptación código ADC.
- Implementación etapa de detección y control.

#### V-6. Semana del 6 de febrero:

- Unificación de periféricos.
- Impresión de circuito en PCB.

#### V-7. Semana del 13 de febrero:

- Elaboración de la maqueta.
- Presentación de proyecto.

A continuación se realiza una descripción mas detalla de los módulos elaborados en el proyecto:

#### V-A. Adquisición de datos

Inicialmente se planteó el uso de una Unidad de medición inercial MPU 6050 que opera con el protocolo  $I^2C$  pero, al momento de implementar dicho protocolo no se obtuvo la adquisición de datos esperada, por lo cual se decidió utilizar el giroscopio L3G4200D el cual opera con protocolo SPI. Este giroscopio mide la velocidad angular en tres ejes (x,y,z) con una resolución de  $8,75 \text{ m}^\circ/\text{s/bit}$  a  $250^\circ/\text{s}$ , los datos de velocidad se envían por tramas de 48 bits donde cada 16 bits corresponden a la información de uno de los ejes. Las señales de salida para el protocolo SPI se pueden observar en la Fig. 6.

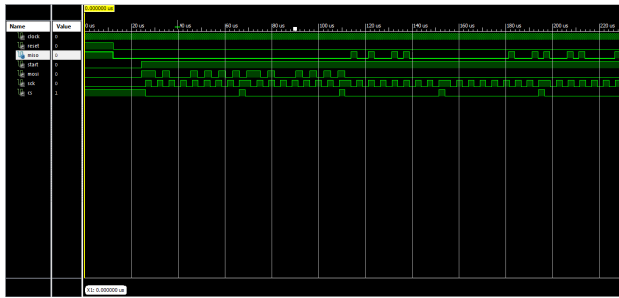


Figura 6. Señales de salida protocolo SPI

Asi mismo, el RLT del giroscopio se evidencia en la Fig. 7.

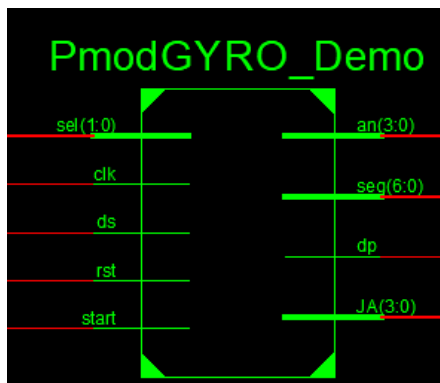


Figura 7. RTL para el giroscopio

#### V-B. Detección

Para obtener el ángulo de inclinación inicialmente se planteó el uso de un módulo integrador en el cual a partir de la velocidad angular  $\omega$  se obtenga el ángulo  $\theta$  por medio de la expresión  $\theta(t) = \omega \cdot \Delta t + \theta(t-1)$ , a causa de no conocer con exactitud el tiempo  $\Delta t$  en el cual se actualizan los datos no

se pudo determinar el ángulo de inclinación por este método, por esta razón, se optó por usar potenciómetros conectados a un ADC con el fin de asociar el ángulo de giro a la caída de tensión en las secciones del potenciómetro. Debido a que en el ADC solo se tiene una salida digital, a pesar de tener 8 entradas análogas, se decidió crear un multiplexor en el tiempo con el fin de recibir 2 señales digitales por medio de solo una salida, así, la velocidad a la que se actualizan los datos es a 500 Hz.

El RTL del conversor A/D se muestra en la Fig. 8.

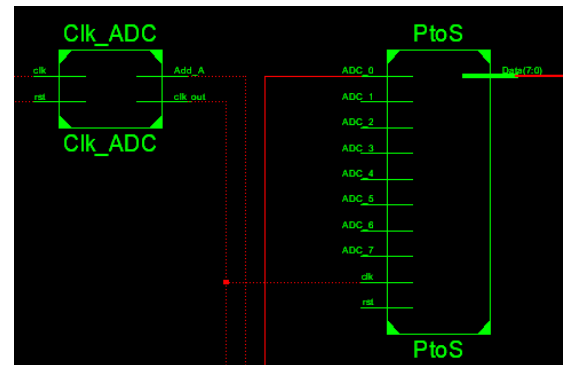


Figura 8. RTL conversor A/D

#### V-C. Control

Con el fin de estabilizar el vehículo, se estableció como ángulo máximo de inclinación  $45^\circ$  con respecto a la perpendicular que formen las alas en cada sentido, luego al ingresar un ángulo mayor a este, el motor correspondiente al eje en el que se inclinó recibirá el pulso de reloj correspondiente para retornar al ángulo de inclinación  $0^\circ$ , además de esto, por medio de los LEDs de la FPGA a usar (Nexys3) se va a indicar si se encuentra en la posición equilibrio o en que sentido se encuentra inclinado el vehículo de tal manera que 4 LEDs corresponden a cada eje, luego cuando se encuentren los dos LEDs de la mitad indica posición de equilibrio, mientras que si se prende algún led de los costados indica que el ángulo de inclinación es mayor a  $45^\circ$ . Con el fin de simular el mando de un vehículo aéreo los potenciómetros mencionados anteriormente cumplen esta función, así al girar uno de ellos, la plataforma de simulación del vehículo gira con respecto al eje que represente dicho potenciómetro. Al superar el ángulo de inclinación máximo en cualquier de los dos ejes se emitirá un sonido de alarma por medio de un buzzer con el fin de tener dos salidas de indicación de alerta de distinto tipo. El RTL que muestra el control de los servomotores se muestra en la Fig. 9.

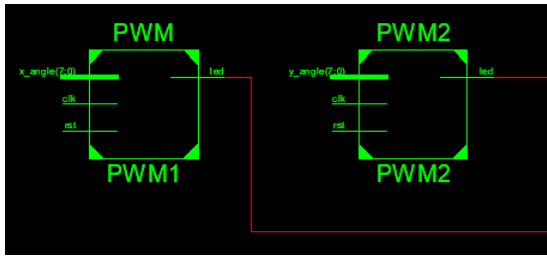


Figura 9. RTL de los PWM (Control de los motores)

#### V-D. Interfaz de Usuario

Con el fin de que los datos se presentaran de manera mas sencilla al usuario, se desarrolló una interfaz que consta de un display LCD 2x16 en el cual al encender imprime el texto "Estabilizador de vuelo digital", enseguida imprime "Bienvenido a la etapa de control", finalmente muestra los valores del ángulo del eje  $x$  y  $y$ . Esta decodificación fue posible gracias a un conversor online de String a hexadecimal. Las señales de salida necesarias para este display se ilustran en la Fig. 10.



Figura 10. Inicialización display LCD 2x16 con 8 bits de salida

Así mismo, el RTL de la LCD se muestra en la Fig. 11.

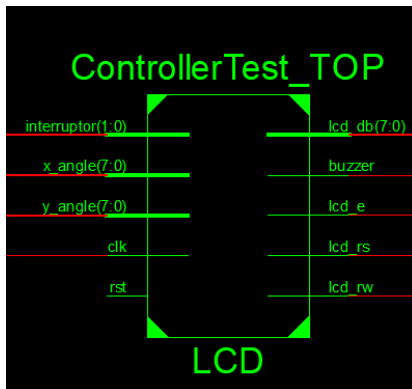


Figura 11. RTL de la LCD

#### V-E. Acople de periféricos

Esta etapa del proyecto se realizó mediante el instanciamiento de los módulos que se muestran en la Fig. 5 en un modulo TOP nuevo. Esta etapa fue la más complicada de realizar ya que tocaba tener mucho cuidado a la hora de realizar las conexiones entre módulos y declarar las entradas y salidas de forma correcta. Finalmente, el modulo Top quedo como se muestra en la Fig. 12.

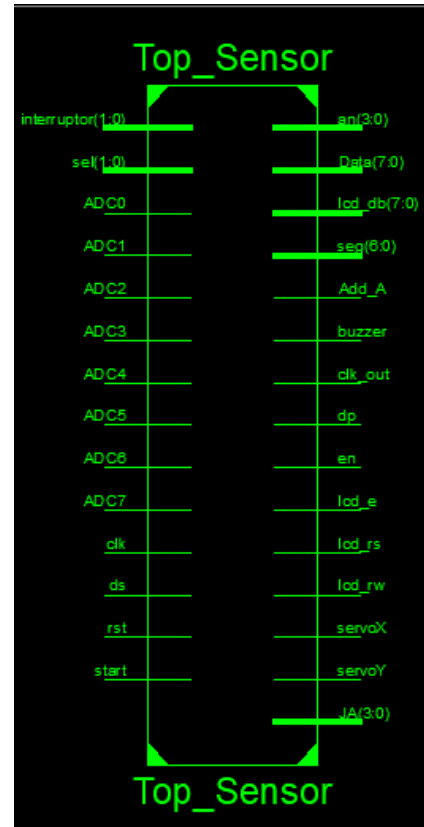


Figura 12. Modulo TOP

## VI. DISCUSIÓN

### VI-A. Adquisición de datos

Como se mencionó en la sección IV A. para la toma de datos se cambió dos veces el método pasando por dos giroscopios uno con protocolo  $I^2C$  y otro por protocolo SPI has finalmente hallar el ángulo por medio de un ADC tomando la tensión de un potenciómetro.

### VI-B. Detección

Como ya se mencionó en secciones anteriores, en esta etapa se tuvo que replantear el proyecto ya que no fue posible hacer el modulo integrador. Una manera más sencilla y económica de tener los datos de los ángulos fue por medio del ADC relacionando los valores de la caída de tensión con los valores de los potenciómetros, cabe resaltar que en el proyecto se usaron potenciómetros genéricos para futuras practicas, si se cuenta con suficiente presupuesto se recomienda usar potenciómetros de exactitud con el fin de tener menos sensibilidad.

### VI-C. Control

Para la elaboración de la etapa de control fue necesario tener en cuenta que el ciclo útil de los servomotores es restringido y por lo tanto se debe hacer la correcta caracterización de los mismos. El principal inconveniente en esta etapa lo ocasionó la no linealidad de los servomotores.

#### VI-D. Interfaz de usuario

En esta etapa se reutilizó el código de la LCD y se adaptó con condicionales de acuerdo a los valores de los potenciómetros con el fin de que se mostrara el eje deseado. El inconveniente a la hora de manejar este periférico fue al momento de decodificar el mensaje ya que al ser una LCD 2x16 el tamaño del mensaje en ambas filas debe contener estrictamente 16 caracteres, como teníamos datos variables (ángulos de inclinación) se tuvo muy en cuenta el tamaño de los datos y con esto, se de no sobrepasar el límite de caracteres o en dado caso de que faltaran, se rellenaban con espacios.

### VII. CONCLUSIONES

- En conclusión, mediante el uso de potenciómetros y el conversor A/D fue posible realizar la etapa de control del estabilizador de vuelo, el cual al detectar el ángulo máximo regresó el vehículo a su posición de equilibrio.
- Se evidencia que el uso de protocolos facilita las cosas, en el sentido de que se ahorran cables de conexión.
- Con la implementación la pantalla LCD, se consiguió crear una interfaz. De esta manera se desarrollo el sistema de control manual del proyecto.
- El control de un servomotor es complejo a la hora de encontrar los ángulos ya que no hay una relación lineal entre la amplitud del pulso y el ángulo de giro.
- Los ADC son elementos muy útiles al tener que trabajar con señales análogas en sistemas digitales ya que se pueden insertar y convertir de una manera muy sencilla.

### REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Muertes por accidentes de transporte. Technical report, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2018.
- [2] Organización de Aviación Civil Internacional. Investigación de accidentes e incidentes de aviación. Technical report, Organización de Aviación Civil Internacional, 2001.
- [3] Floyd L. Thomas. *Digital Fundamentals*. Pearson, 11 edition, 2015.