

ARTÍCULOS



BOLETÍN CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

ACADEMIA POLITÉCNICA MILITAR

**DISEÑO DE DETALLE DE UN POLÍGONO DE TIRO VIRTUAL
INALÁMBRICO, MODULAR Y TRANSPORTABLE PARA
FUSIL GALIL**



DISEÑO DE DETALLE DE UN POLÍGONO DE TIRO VIRTUAL INALÁMBRICO, MODULAR Y TRANSPORTABLE PARA FUSIL GALIL

CAP. Jorge Vásquez Albornoz¹
Sr. Julio Astudillo Campos²

Resumen: *La simulación para el entrenamiento es uno de los tres mecanismos contribuyentes para el desarrollo de cualquier sistema que se desee representar. Bajo esta premisa, el Ejército asumió el desafío de desarrollar un simulador modular de tiro, transportable e inalámbrico para armamento menor, con el fin de apoyar la instrucción y entrenamiento militar mediante simulación virtual.*

El presente artículo expone el diseño y desarrollo de un polígono de tiro virtual desarrollado por el Centro de Modelación y Simulación del Ejército (CEMSE), en conjunto con las Fábricas y Maestranzas del Ejército (FAMAE), constituyéndose en el primer desarrollo Institucional de este tipo, que contribuirá significativamente al entrenamiento de la Fuerza Terrestre. El artículo pretende exponer los métodos y criterios de diseño usados, la tecnología aplicada y los algoritmos inmersos en su desarrollo.

Palabras clave: *Cálculo balístico, Desarrollo de software, Sensorización, Simulación para el entrenamiento militar, Visión artificial.*

Abstract: *Military training simulation is one out of three mechanisms that contribute to the Chilean development from the defense sector. In that sense, Chilean Army took the challenge to design and develop by their own a modular, transportable and wireless virtual shooting range for the new standard rifle Galil 22 ACE N-C, in order to support technologically to the Training through simulation. The following paper presents a virtual shooting range design and development by the Modeling and Simulation Center of the Chilean Army and the Chilean Armories and Factories. It*

1 Ingeniero Politécnico Militar en Sistemas de Armas, mención Mecánica. Master of Science in Mechanical Engineering. Master of Science in Computational Design and Manufacturing.
2 Ingeniero Civil Mecánico. Master of Science in Energy Science.



is the first completely Chilean-Army developed simulator for the Land Forces. This article pretends to exposes design criteria and methods, technology applied and algorithms immersed.

Key words: *Calculus, Software development, Sensing, ballistic Military training simulation, Computer vision.*

1. INTRODUCCIÓN

La simulación para el entrenamiento militar comienza antes de la Primera Guerra Mundial con los Juegos de Guerra desarrollados por el alto mando del Ejército de Prusia (*Kriegsspiel*) (“History of Wargames: Toward a History Based Doctrine for Wargaming”, 2000), pero no es hasta la década de los 80’s, cuando el Ejército de los Estados Unidos implementa el uso de simuladores virtuales en sus entrenamiento de habilidades de combate, mediante el desarrollo del simulador de combate multipropósito (*Multipurpose Arcade Combat Simulator, MACS*) y el entrenador de habilidades de combate (*Engagement Skill Trainer, EST*).

Los polígonos de tiro virtual son una herramienta fundamental de apoyo para la mejora de las capacidades de tiro en los diferentes ejércitos del mundo, usados en instrucción, acreditación, capacitación y entrenamiento de los combatientes individuales de todos los grados. En la institución, sólo contamos con un polígono virtual para armamento menor instalado en la Escuela Militar, el cual posee características alámbricas (red de aire).

La tecnología ha evolucionado y hoy, la gran mayoría de los polígonos de tiro virtual emplean acelerómetros, giróscopos, sensores magnéticos, cilindros de aire comprimido y un dispositivo láser adicionados al arma, con el propósito de posicionar el impacto del tiro, retroalimentar al tirador con un reporte y ejecutar el carguío inalámbricamente. Poseen además motores de cálculo que ejecutan ecuaciones balísticas para simular la trayectoria del proyectil al momento de abandonar el cañón. Como resultado de esta sincronía, se obtiene una estimación precisa de la posición de impacto del proyectil dentro de la silueta proyectada en forma virtual.

Descripción General

Para el diseño de este sistema se utilizó la metodología de Ingeniería de Sistemas, por lo cual se dividió el proyecto en tres fases principales: diseño conceptual, diseño preliminar y diseño de detalle como se indica en la figura N° 1. Cabe destacar, que para este proceso se utilizaron delegados de distintas unidades atingentes al proyecto.

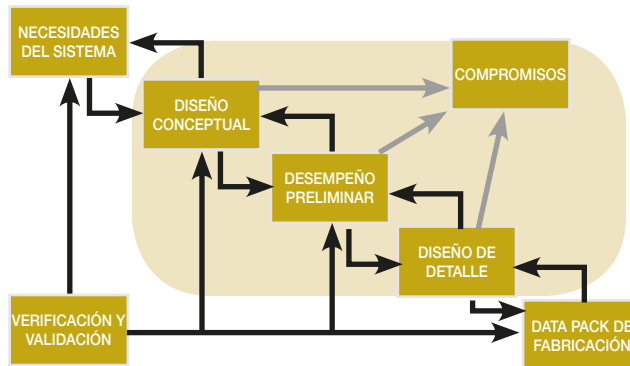


Figura N° 1: Fases del proyecto de desarrollo.

Durante la primera fase del diseño, y conforme al análisis funcional, se conformaron las funciones del sistema, los criterios de diseño: robustez, modularidad, escalabilidad y sencillez, además se generó la composición del sistema con sus respectivos subsistemas y relaciones, desagregándose en tres subsistemas: arma, entorno e interfaz, como se visualiza en la figura N° 2.

El subsistema “arma”, capaz de generar el retroceso, el carguío mediante elementos mecánicos y la acción de apuntar el fusil mediante un láser tipo industrial codificado. El subsistema “interfaz”, que es capaz de percibir mediante elementos sensibles del tipo mecánico y magnético, además de un módulo integrado con un acelerómetro y transmitir, de esta manera, información al *Gateway* del servidor mediante un micro controlador inalámbrico con tecnología *zigbee*³ y el subsistema “entorno”, que es capaz de captar el pulso láser a través de algoritmos de visión artificial, proyectar la realidad virtual y retroalimentar al tirador a través de un software.

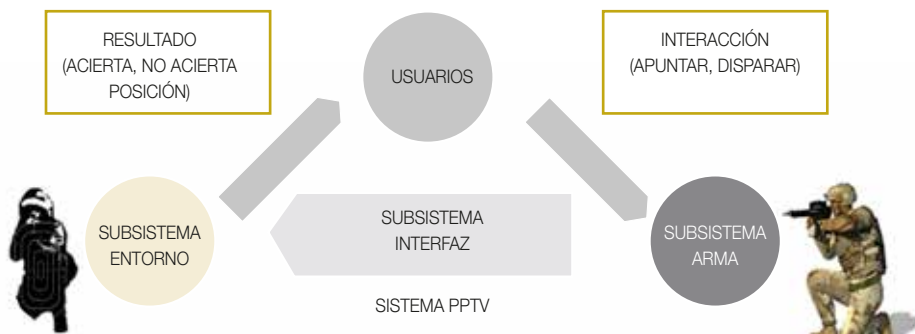


Figura N° 2: Composición del sistema.

3 Tecnología inalámbrica para pequeños paquetes de información y maximización de la vida útil de las baterías.



Motor físico del sistema

Se entenderá por motor físico del simulador a los cálculos balísticos para identificar las coordenadas de impacto, corrección de la coordenada por inclinación del fusil y la corrección de la coordenada usando ecuaciones balísticas que interpretan las características del proyectil, del fusil, la distancia al objetivo y las condiciones atmosféricas.

1.1 Determinación de la coordenada de tiro utilizando dispositivo láser

La detección de las coordenadas (ver figura N° 3) a la cual el tirador está apuntando se realiza mediante un dispositivo láser instalado en el cañón del arma, una cámara de detección junto al proyector y un algoritmo de procesamiento de imágenes o visión artificial del software (ver figura N° 4).

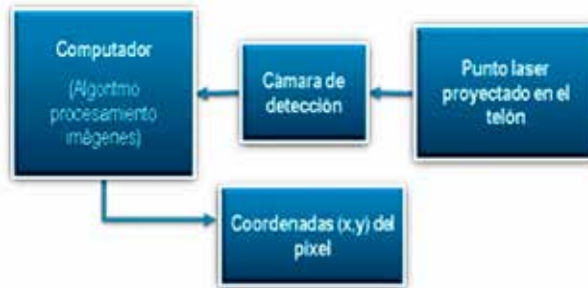


Figura N° 3: Proceso de detección de haz de láser.

Para el procesamiento de imágenes se utiliza la librería Open CV (Open Computer Vision).

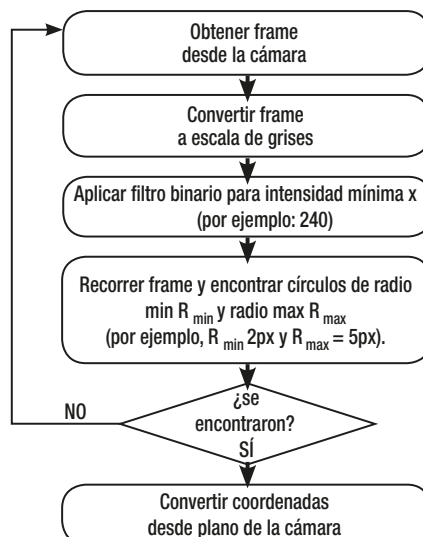


Figura N° 4: Algoritmo de detección punto láser.



La coordenada del haz de láser en el telón corresponde a la coordenada a la cual el cañón del fusil está apuntando, sin embargo, para efecto de cálculo balístico, se requiere saber la coordenada a la cual el punto de mira del fusil está apuntando. Estas coordenadas se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$X_{\text{punto_mira}} = X_{\text{laser}} + \text{offset}_x \quad (1)$$

$$Y_{\text{punto_mira}} = Y_{\text{laser}} + \text{offset}_y \quad (2)$$

$X_{\text{punto de mira}}$ = Corresponde a las coordenadas donde el tirador está apuntando.

X_{laser} = Corresponde a las coordenadas reales donde está impactando el láser.

Offset = Se denomina a las coordenadas compensadas por calibración del tirador.

Ecuaciones (1) y (2) para el cálculo de coordenadas del punto de mira del fusil

El *offset* en los ejes X e Y se obtienen durante el proceso de colimación del arma a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Offset}_x = X_{\text{punto referencia}} - \frac{X_{\text{tiro1}} + X_{\text{tiro2}} + X_{\text{tiro3}}}{3} \quad (3)$$

$$\text{Offset}_y = Y_{\text{punto referencia}} - \frac{Y_{\text{tiro1}} + Y_{\text{tiro2}} + Y_{\text{tiro3}}}{3} \quad (4)$$

*Offset*_x = coordenada x e y compensada.

X , Y *punto referencia* = coordenada x e y del punto de referencia (círculo rojo).

Ecuaciones (3) y (4) para el cálculo de colimación del punto de mira del fusil.

Según las ecuaciones (3) y (4) se deben realizar 3 tiros hacia un punto de referencia al cual el punto de mira está registrando. La diferencia entre la coordenada del punto de referencia y el promedio de las coordenadas de los tres tiros nos entrega el *offset* promedio entre el cañón y el punto de mira del fusil.

La posición del impacto del tiro dentro del blanco con respecto a algún punto de referencia (X_{ref} , Y_{ref} , usualmente el centro del blanco de anillas o silueta de ataque) se calcula utilizando las siguientes ecuaciones:

$$dX_{\text{ref}} = (X - X_{\text{ref}}) * \frac{\text{distancia_blanco}}{\text{distancia_ref}} \quad (5)$$

$$dY_{\text{ref}} = (Y - Y_{\text{ref}}) * \frac{\text{distancia_blanco}}{\text{distancia_ref}} \quad (6)$$



dX_{ref} = desviación de x e y de referencia.

distancia blanco = distancia del blanco.

distancia _ref = distancia de referencia.

Ecuaciones (5) y (6) para el cálculo de las coordenadas según distancia a la silueta.

En las ecuaciones (5) y (6) las coordenadas X, Y, Xref e Yref están medidas en pixeles, la distancia de referencia es un parámetro fijo y usualmente corresponde a la distancia a la cual el blanco será proyectado al momento de calcular los resultados (por ejemplo 4 m). Si X, Y es igual a (Xref, Yref), entonces no existe desviación ($dX_{ref}=0$, $dY_{ref}=0$) con respecto al punto de referencia en el blanco. Lo anterior implica que, si el punto de referencia corresponde al centro del blanco, entonces el impacto dio en el centro de este.

La desviación dX_{ref} o dY_{ref} aumenta a medida que la distancia del blanco proyectado se incrementa. Por ejemplo, para el caso de un blanco proyectado a 100 m, una diferencia X - Xref es igual a 1 pixel corresponde a una desviación dX_{ref} es igual a 25 pixeles. Para el caso de blanco proyectado a 300 m, la desviación dX sería igual a 75 pixeles. Lo anterior define la precisión del sistema láser, debido a que la máxima precisión de la cámara de video es +/- 1 pixel. En este caso, a 100 m existen 25 pixeles de incertidumbre en la coordenada de impacto dentro del blanco proyectado a 4 m. En el caso de 300 m., la incertidumbre es igual a 75 pixeles.

Tabla N° 1: Precisión en la detección de coordenadas mediante sistema láser*.

* Se asume un telón de tamaño 3.600 x 100 mm, resolución de la cámara 1.280 x 720 pixeles, y una distancia referencia igual a 4 m.

DISTANCIA [m]	PRECISIÓN X [mm]	PRECISIÓN Y [mm]
4	+/- 1.4	+/- 1.5
25	+/- 8.8	+/- 9.1
50	+/- 17.6	+/- 18.2
100	+/- 35.2	+/- 36.5
200	+/- 70.3	+/- 72.9
300	+/- 105.5	+/- 109.4



1.2 Corrección coordenada de tiro utilizando acelerómetros

Con el objetivo de reducir las incertidumbres presentadas en la tabla N° 1, los sistemas de simulación a menudo incorporan acelerómetros y giróscopos con el fin de medir la posición e inclinación del fusil al momento del disparo.

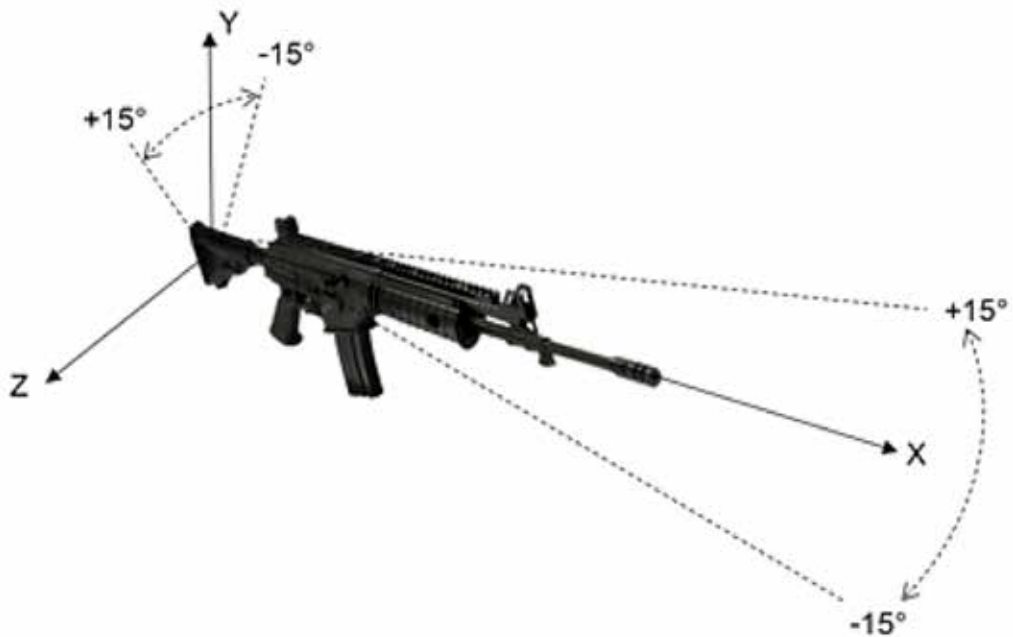


Figura N° 5: Ángulos medidos por el acelerómetro en el fusil.

Los acelerómetros también poseen incertidumbre en su medición (ver tabla N° 2) lo cual depende de la distancia a la cual se proyecta el blanco, el rango de medición, y la precisión del ADC (Analog to Digital Converter). Según la figura N° 5, el rango de medición en cada eje es de +/-15°. Si la precisión del convertidor análogo digital (ADC) es de 12 bits, i.e. 0-4096, se tiene que la resolución angular es igual a 0.0073° dado por la fórmula:

$$\text{Precisión} \left[\frac{\text{mm}}{\text{ADC}} \right] = \text{distancia}_{\text{objetivo}} * \text{TAN} \left(\frac{30^\circ}{4096} \right) \quad (7)$$

**Tabla N° 2: Precisión en la detección de coordenadas mediante acelerómetros.**

DISTANCIA (m)	PRECISIÓN (mm)
4	+/- 0.25
25	+/- 1.59
50	+/- 3.19
100	+/- 6.39
200	+/- 12.78
300	+/- 19.17

La medición entregada por los acelerómetros al momento del disparo permite corregir la coordenada (dX_{ref} , dY_{ref}) entregada por el sistema láser. La corrección se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta X = \frac{(A_{ADCx} - A_{pixelx})}{DA_x} * PrecisionPixel_x \quad (8)$$

$$\Delta Y = \frac{(A_{ADCy} - A_{pixely})}{DA_y} * PrecisionPixel_y \quad (9)$$

Ecuaciones (8) y (9) segunda corrección de coordenadas mediante acelerómetro.

A_{ADC} y A_{pixel} corresponden a la inclinación del fusil y el ángulo del pixel respectivamente. Los factores DA_x y DA_y son obtenidos por calibración.

1.3 Corrección coordenada de tiro utilizando ecuaciones de balística exterior

Para realizar el ajuste de las coordenadas del tiro se toman en cuenta los siguientes elementos:

- Distancia al blanco de anillas o silueta de ataque.
- Distancia de colimación del fusil.
- Velocidad del viento (km/h).
- Dirección del viento.
- Función de arrastre del proyectil.
- Coeficiente balístico del proyectil.
- Velocidad inicial del proyectil (m/s).
- Altura de la mira con respecto al cañón del fusil.



El cálculo del desplazamiento se realiza con respecto a la línea de mira del proyectil, y considera el desplazamiento en el eje vertical del proyectil debido al efecto de la gravedad y el desplazamiento en el eje horizontal debido al efecto del viento (ver figura N° 6).

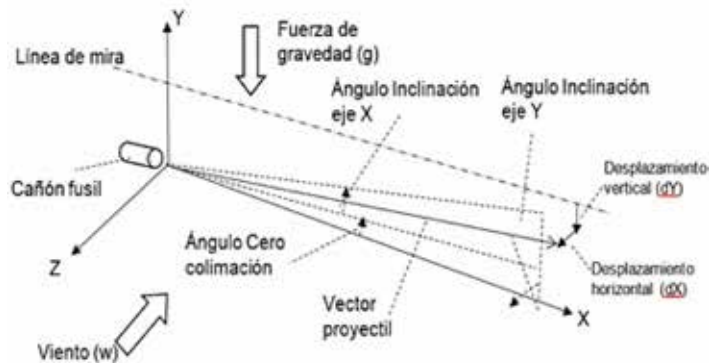


Figura N° 6: Diagrama balística del proyectil.

Los desplazamientos en el eje vertical (Y) y horizontal (X) se obtienen resolviendo la siguiente ecuación de movimiento:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\frac{p}{p_0} * \frac{G(v)}{c} * (\mathbf{v} - \mathbf{w}) + \mathbf{g} \quad (10)$$

Ecuación (10): Ecuación de movimiento para cálculo de los desplazamientos en X e Y.

Donde:

v : Velocidad del proyectil respecto del suelo [m/s].

w : Velocidad del viento respecto del suelo [m/s].

g : Aceleración de gravedad [(x=0, y=-9.68 m²/s, z=0)].

p : Presión atmosférica [Pa].

p_0 : Presión atmosférica a nivel del mar [101.33 kPa].

$G(v)$: Función de arrastre del proyectil, el cual depende de la velocidad del proyectil.

C : Coeficiente balístico del proyectil.

w, p : dependen del tipo de escenario, y $G(v), C$, del tipo de proyectil disparado.

Existen diversas correlaciones desarrolladas empíricamente para $G(v)$. Existen siete tipos de correlaciones para G : G1, G2, G5, G6, G7 y G8. El valor de G depende



de la velocidad del proyectil en un momento dado. Todas las correlaciones poseen la siguiente forma:

$$G = A(v) * v^{M(v)} \quad (11)$$

Ecuación (11): Ecuación para calcular G.

Dónde:

$A(v)$ y $M(v)$ son valores de correlación dependientes de la velocidad del proyectil.

1.4 Corrección balística total

Después de utilizar estos tres mecanismos, se realiza la corrección final para estimar la coordenada de impacto de un tiro simulado en el polígono de tiro virtual que se presenta.

La coordenada total del tiro se obtiene al combinar la contribución de cada uno de estos mecanismos (ecuaciones 5, 6, 8, 9, y 10):

$$X = X_{ref} + dX_{ref} + \Delta X + \Delta X_{balística} \quad (12)$$

$$Y = Y_{ref} + dY_{ref} + \Delta Y + \Delta Y_{balística} \quad (13)$$

Ecuación (11) y (12): ecuación para el cálculo de la coordenada final.

Subsistema interfaz

El subsistema interfaz se encuentra dentro del subsistema arma y se encarga de sensor y enviar la información de los eventos del fusil al servidor con la intención de disponer al software de información relevante. Esta información es procesada por el subsistema entorno para identificar la ubicación exacta de cada impacto, para conocer el estado del fusil y el conteo de disparos.

1.5 Componentes del subsistema interfaz

El subsistema interfaz está compuesto por dos componentes principales: uno encargado de la captación de eventos y el otro del envío de datos. Cada uno de estos componentes conforma la parte funcional e interactúan como muestra la figura N° 7.



Figura N° 7: Esquema de interacción de la información.

1.6 Características electrónicas del subsistema interfaz

Para la captación de inclinación se diseñó un circuito impreso, integrado al módulo del acelerómetro, ubicado en el vástago de la culata del fusil, de forma horizontal para obtener una medición correcta de la inclinación en el eje x e y del fusil. Este módulo es el encargado de corregir la precisión balística. Esta corrección adquiere relevancia cuando las distancias de tiro son mayores, por lo que en un pixel existen varios puntos de disparo.

Existe otra placa impresa que recibe el resto de los eventos captados por elementos sensibles como la presión en el disparador, el cargador, preparador, selector de tiro, disparador y del módulo integrado de acelerómetro sostenidos en la caja de los mecanismos ubicada dentro de la empuñadura, la cual tiene además la función de enviar datos mediante un micro controlador de comunicación inalámbrica con tecnología zigbee (Xbee PRO S2B). Además, se encarga de controlar el encendido del láser cuando el fusil está totalmente preparado para ser utilizado para la sesión de tiro.

Las dos placas impresas se alimentan por una batería de ion litio que entrega un voltaje de 3.7 V DC y 1100 mAh. Esta batería se carga en forma interna, conectándose a un cargador de 5V DC a la entrada hembra ubicada en la superficie inferior de la empuñadura. Se estima una autonomía de la batería de aproximadamente 10 horas de uso continuo, con láser encendido, lo que mantiene un rango considerable para una jornada de 8 horas de uso continuo del polígono.

El Subsistema interfaz posee tres luces indicadoras, una de conexión establecida, la cual se mantiene encendida si y solo si la Xbee se conectó satisfactoriamente al Gateway, otra que indica el estado del switch ON/OFF y la de estado de carga, que se enciende mientras la batería se encuentra en proceso carga y se apaga cuando acaba.

La conexión entre los sensores y la unidad de envío de datos se hace a través de cable plano de 10 pines, mientras que la del acelerómetro se hace por cable plano de 6 pines.



1.7 Características de disposición



Figura N° 8: Indicación de lugares físicos de los circuitos impresos (*Printed Circuit Board, PCB*).

El cajón de mecanismos contiene en su interior los sensores ubicados de tal forma de que sea fácil el cambio (ver figura N° 8), además, están montados sobre una base especialmente construida y conectado a una placa de envío de datos a través de un conector, lo que hace que estos sean completamente modulares, removibles y desechables en caso de falla. Este criterio de diseño, además, permite tener un stock de sensores con sus respectivas bases y conectores. Por consiguiente, en caso de falla, se realizará un reemplazo rápido y sencillo para disponer nuevamente el sistema en operación con una nueva sesión/lección de tiro.

La culata, por su parte, contiene el circuito del acelerómetro, el cual envía información de la inclinación en x e y del fusil para corregir la precisión balística. Se eligió ese lugar físico porque cumplía con las condiciones de ser capaz de contener al circuito y de mantenerlo de forma horizontal y de esa forma obtener una medición lo más certera posible.

Los dos puntos anteriores se comunican directamente a través de cable plano hacia la placa de envío de información ubicada en la empuñadura del fusil junto con la batería. Esta placa envía la información hacia el *Gateway*. Se debe agregar que son el de carga de batería compuesto por el integrado por microcontrolador tipo MCP73831, y adjuntarla con el circuito del acelerómetro y los sensores. Una vez funcionando en conjunto y haciendo el envío correcto de información se fabricó en doble capa por proceso químico y con acabado profesional.



Se desarrollaron las bases soporte de sensores en aluminio, las que se fijan mediante tornillos de diámetro 2mm cabeza *allen*, que otorgará una mejor estética exterior y una menor probabilidad de ser removidos intencionalmente.

Se montan los sensores y se conectan los circuitos, se revisa que funcione todo y se realizan pruebas de tiro continuo, comprobándose la robustez del montaje ante vibraciones.

Diseño del Software

Este subsistema se encarga de controlar la interacción entre los demás subsistemas, además de manejar el flujo de información que corre dentro del sistema PPTV (Proyecto Polígono de tiro virtual) completo. Aquí se maneja la información de los sensores dispuestos en cada fusil, la información recopilada por la detección de imágenes desde la cámara infrarroja, la información almacenada en base de datos del sistema PPTV y la información producida por el software luego de la ejecución de las sesiones de entrenamientos.

1.8 Flujo de información en el subsistema entorno

Como todo proceso informático, el funcionamiento del subsistema entorno, se basa en un flujo estándar que cuenta con una entrada, un procesamiento de la información y una salida. En este flujo intervienen los tres subsistemas que conforman en su totalidad el sistema PPTV, teniendo como entrada principal, la información recibida desde los fusiles (sensores) y la detección de imágenes a través de la cámara infrarroja; por otro lado en el procesamiento de esta información, el software de control es el encargado de manejar la representación de los tiros realizados con el fusil hacia una proyección generada a través de un proyector, en la cual se visualiza el ambiente simulado de un polígono de tiro. Dentro de este procesamiento el software se encarga de detectar el láser instalado en el fusil, la actitud de los tiradores en cada movimiento previo al tiro realizado, lo que se compara con el doctrinal dispuesto en el reglamento de instrucción respectivo. Finalmente se retroalimenta al personal instruido conforme al esquema que se visualiza en la figura N° 9.



Figura N° 9: Flujo de información del subsistema entorno.



1.9 Características del software

El software de subsistema entorno se divide en tres módulos, los que se describen a continuación:

- **Módulo de captura de imágenes:**

Este módulo se encarga de capturar y procesar la información recibida desde la cámara infrarroja de detección dispuesta en el sistema PPTV. Esta cámara capta el movimiento del láser adosado al fusil, a través del posicionamiento del mismo, cuando es proyectado en el telón.

Esta cámara distingue los distintos tonos de color dentro de la proyección, diferenciando ubicación del láser en cada momento mientras se ejecuta la sesión de entrenamiento, permitiendo al software de control responder gráficamente ante los eventos del disparo.

Para el procesamiento de estas imágenes, se ocupa la librería OpenCv de C# (librería gratuita para visión artificial), con la cual se desarrollaron ciertos métodos para la recepción y captura de información entregada por la cámara. Todo esto ejecutado dentro de un *Thread* o hebra, en base al siguiente extracto de código fuente:

```
“Image<Bgr, Byte> imgOriginal;  
// obtiene el siguiente fram desde la camara  
imgOriginal = capWebcam.QueryFrame();  
//La cámara axis, en su modo infrarojo, funciona en escala de grises.  
imgProcessed =imgOriginal.Convert<Gray, byte>();  
//valores min y max del filtro  
imgProcessed =imgProcessed.InRange(new Gray(240),  
new Gray(256));”
```

Con esto se puede empezar a procesar la imagen recibida desde la cámara y así detectar el movimiento del láser en cada segundo, a través de la lectura simple de cuadros o *frames*.

- **Módulo de captura de eventos en el fusil:**

Este módulo recibe y procesa toda la información entregada por los sensores dispuestos en los distintos fusiles dentro del sistema PPTV. La forma de recepción se hace a través de paquetes de información, los cuales contienen información sobre los



sensores, sobre el evento de disparo, y la presión ejercida en el disparador por cada tiro, lo que es reportado por el acelerómetro que indica la posición del fusil antes de cada disparo.

Con esta información el software recrea los disparos realizados en un blanco proyectado en un telón o pantalla, además de establecer configuraciones ambientales a las cuales son sometidos los proyectiles cada vez que viajan por el aire desde el arma hasta su blanco; buscando así recrear lo más real posible un entrenamiento físico dentro de un polígono de tiro. Todo lo cual es simulado a través del uso de ecuaciones matemáticas y teorías físicas acerca del movimiento de proyectiles.

La información se transmite a través de dispositivos de conexión inalámbrica, conocidos como *Xbee*, dispuestos en los circuitos eléctricos diseñados para los fusiles y dentro de un *Gateway* de recepción dispuesto en el subsistema Interfaz. Esta recepción, al igual que la captura de imágenes, se realiza a través de un *thread* o hebra de lectura que maneja una conexión UDP entre el servidor y el *Gateway*, a través del siguiente extracto de código (previo a una configuración de puertos realizado para la conexión).

```
IPHostEntry ipHostInfo;  
IPAddress ipAddress;  
IPEndPoint remotIPEndPoint;  
ipHostInfo = Dns.GetHostEntry(Dns.GetHostName());  
ipAddress = ipHostInfo.AddressList[1];  
int servPort = 5000;  
client = new UdpClient(servPort);  
remotIPEndPoint = new IPEndPoint(IPAddress.Any, 0);  
byte[] byteBuffer;  
//recibe un arreglo de bytes con los paquetes de informacion desde el gateway  
byteBuffer = client.Receive(ref emotelIPEndPoint);  
serverMessage = Encoding.ASCII.GetString(byteBuffer,0,byteBuffer.Length);
```

Una vez recibida la información por el servidor, esta es procesada por distintos métodos que obtienen la información propiamente tal.

- **Módulo de procesamiento de información:**

Este módulo es el encargado de manejar toda la información obtenida desde la captura de imágenes y la captura de datos desde los sensores del fusil, para finalmente entregar resultados en cada sesión de entrenamiento que se realice dentro del sistema



PPTV. Dentro de este módulo se llevan a cabo todos los cálculos matemáticos, físicos y de precisión antes mencionados para una correcta representación real de una sesión de tiros, tomando en cuenta ambientes, condiciones climáticas, distancias de tiro, entre otros factores.

Importante dentro de este módulo es el manejo de la información obtenida luego de la captura del láser en la pantalla, ya que es con esto con lo que se representaran los tiros realizados y se tomara la base para la entrega de resultados posterior a cada sesión. Se podría decir que este es el punto más importante dentro del sistema PPTV. En paralelo a esto se procesa toda la información de los sensores, almacenando información sobre la presión del disparador, el movimiento del fusil, la puntería del tirador y la preparación del arma para un tiro correcto. Así el software recrea los disparos, el cálculo de puntaje, porcentajes de aprobación, cantidad de tiros acertados por sesión, escalamiento de blancos a distancia y todo lo necesario para la entrega de resultados según lo establecido en los requerimientos del sistema.

En la figura N° 10 se puede apreciar una demostración de los resultados para una sesión de entrenamiento libre a 25 m. de distancia, con un blanco de siluetas.

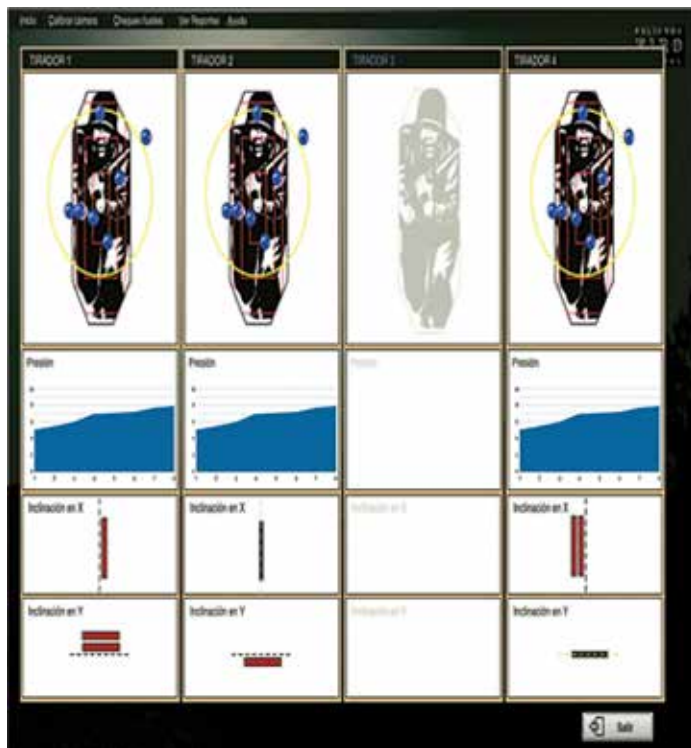


Figura N° 10: Entrega de resultados.



Toda esta información puede ser almacenada en una base de datos diseñada en *MySQL* para el sistema PPTV, información que puede ser ocupada para futuros reportes según las necesidades establecidas. En esta base de datos también se maneja la información de las sesiones, los usuarios (administrador, operadores y tiradores), sobre los tipos de blanco establecidos, condiciones ambientales. Quedando abierta a futuras modificaciones para todo lo necesario en el funcionamiento del sistema PPTV.

SOPORTE

Un punto importante dentro del diseño del sistema PPTV es el soporte futuro, es por esto la importancia que tiene la fabricación modular de todos los subsistemas/componentes y piezas que lo componen. Se proyecta una gran demanda por parte del Ejército y el tiempo muertos entre fallas deben ser casi cero, es por esto, que se desarrollará una cartilla de mantenimiento y manuales para el correcto uso del usuario para que la persona encargada pueda ser capaz de identificar la zona exacta que presenta una falla de acuerdo a los síntomas que presente el fusil y además aumentar la confiabilidad del sistema.

El Polígono de Tiro Virtual fue diseñado para ser operado en forma diaria durante los siete días de la semana.

CONCLUSIONES

El diseño del polígono se concentra en que su desarrollo y perfeccionamiento futuro se efectúe de manera escalable en el tiempo, integrando en cada ocasión otras variables en su progreso natural de mejoramiento de sus partes y componentes. El hecho de haber construido el sistema en forma modular, trae aparejado la ventaja de conectar y desconectar rápidamente sus componentes sin disminuir los tiempos muertos entre fallas. La construcción modular permite intervenir cada uno de sus componentes sin restarle funcionalidad al sistema como tal.

Cabe demostrar con este proyecto que cualquier reto tecnológico al que se vea enfrentada la ingeniería y/o industria militar, es factible de afrontar con éxito, producto de que las capacidades individuales de sus ingenieros y técnicos que residen en sus organizaciones, están siempre disponibles para satisfacer tales requerimientos.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Caffrey, Matthew. 2000. "History of Wargames: Toward a History Based Doctrine for Wargaming". 2000.
- [2] Exposición "Oportunidades de desarrollo tecnológico del sector de la Defensa Nacional". CORFO, Vicepresidente Ejecutivo de. 2015. Santiago: s.n., 2015.