

UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS  
FACULTAD 5  
ENTORNOS VIRTUALES



**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS NUBES SOBRE EL SISTEMA DE AUTOGUIADO DEL  
COHETE C-10 EN LA CAPTURA DEL BLANCO AÉREO**

Trabajo de Diploma para optar por el título de  
Ingeniero en Ciencias Informáticas

**Autores:** Marleodys Maran Naranjo Guerra  
Ivanier Martínez Benítez

**Tutor:** Tte.Cor. Ing. José E. Villar Cociña

**Co-tutor:** Ing. Yusleidys Guelmes León

**Ciudad de la Habana, Mayo de 2007**  
**“Año 49 de la Revolución”**



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Por este medio declaramos que somos los únicos autores de este trabajo y autorizamos a la Universidad de las Ciencias Informáticas para que haga el uso que estime pertinente con el mismo en su beneficio.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año 2007.

\_\_\_\_\_  
Firma del Autor  
**(Marleodys Maran Naranjo Guerra)**

\_\_\_\_\_  
Firma del Autor  
**(Ivanier Martínez Benítez)**

\_\_\_\_\_  
Firma del Tutor  
**(Tte.Cor. Ing. José E. Villar Cociña)**

## AGRADECIMIENTOS

*Nuestro agradecimiento a cuantas personas hicieron posible este trabajo y nuestra formación profesional a lo largo de estos cinco años.*

*A nuestros tutores, por toda la ayuda que nos han brindado, por sus orientaciones, apoyo, preocupación y por la confianza que depositaron en nosotros.*

*A nuestros profesores, por todo lo que me han enseñado.*

*A nuestra familia, por su apoyo y ejemplo.*

*A nuestros amigos, por estar siempre cuando los hemos necesitado.*

*A las todas aquellas personas que confiaron en nosotros desde el principio.*

*A nuestra Revolución y a Fidel por hacernos partícipes de este proyecto.*

## DEDICATORIA

*A nuestros padres y abuelos quienes nos han enseñado la importancia de aprender a superarnos profesionalmente, ofreciéndonos aliento constante y brindado amor incondicional.*

*A nuestras hermanas, hermanos y familiares en general, que nos apoyan siempre y ayudan a conseguir nuestros anhelos.*

## RESUMEN

En este trabajo se propone un algoritmo para introducir al SimC10 el error que presenta el complejo coheteril C-10. Dicho error consiste en hacer captura de la nube que influye sobre el sistema de autoguiado del C-10 cuando se encuentre en el cono de visión del cohete. El objetivo consiste en modelar un algoritmo para el proceso de captura del banco aéreo del SimC10 con la presencia de nubes. Es importante señalar que no existe actualmente un algoritmo equivalente, siendo intención de la investigación utilizar el mismo en el simulador para el entrenamiento de los soldados.

Para ello se hace un estudio de los aspectos relacionados con las propiedades físicas de las nubes y principios de funcionamiento del guiado automático del C-10 en los modos infrarrojo y óptico. Aparte de lograr identificar las nubes que influyen sobre el C-10 asignándoles valores correspondientes para su posterior utilización. Se elabora un algoritmo general para la captura de nubes que influyen sobre el cohete C-10.

Así, el proyecto pretende servir como herramienta de soporte al simulador para una mejor formación de los soldados. Finalmente se dan algunas recomendaciones para el desarrollo futuro del mismo

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	5
1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA. SIMULACIÓN. SIMULADORES DE TIRO .....	5
1.2 LAS NUBES.....	15
1.3 ALGORITMOS.....	17
CONCLUSIONES .....	19
<b>CAPÍTULO 2. ANÁLISIS PARA LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN</b> .....	20
2.1 PRINCIPIO DE TRABAJO DEL GUIADO AUTOMÁTICO DEL C10. INFRARROJO Y ÓPTICO ..	20
2.2 COMPENSACIÓN DEL C-10 BAJO EL EFECTO DE LAS NUBES .....	24
2.3 IDENTIFICAR LAS NUBES CARACTERÍSTICAS DE CUBA Y SUS PARÁMETROS .....	26
2.3 NUBES QUE INFLUYEN SOBRE EL SISTEMA DE AUTOGUIADO DEL C-10 .....	29
2.5 SECUENCIA LÓGICA DE UN EJERCICIO DE ENTRENAMIENTO EN EL SIMULADOR .....	30
2.6 PROPUESTA DE SOLUCIÓN ALGORÍTMICA PARA CAPTURA DE NUBE .....	33
CONCLUSIONES .....	36
<b>CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN</b> .....	37
3.1 MÉTODOS Y ALGORÍTMOS PARA DETECTAR LA NUBE .....	37
3.1.1 Método del cono truncado .....	38
3.1.2 Método por geometría descriptiva.....	45
3.2 VALORACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DETECCIÓN PROPUESTOS .....	50
3.3 OTRA VARIANTE PARA LA REPRESENTACIÓN DE LAS NUBES.....	52
CONCLUSIONES .....	53
<b>CONCLUSIONES</b> .....	54
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	55
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....57

**ANEXOS** .....58

ANEXO 1. CLASIFICACIÓN DE LAS NUBES SEGÚN SU ALTURA .....58

ANEXO 2: FOTOS DE NUBES .....59

**GLOSARIO** .....60



## INTRODUCCIÓN

El hombre siempre ha intentado simular situaciones reales antes de actuar u operar verdaderamente en determinado escenario o actividad. La constante evolución y desarrollo de las Tecnologías de la Información (TI) han permitido que desde la década de los 80's se hayan empezado a crear programas de simulación por computadora que han servido básicamente para el entretenimiento.

La simulación por computadora se ha convertido en una parte útil del modelado de muchos sistemas naturales en física, química, biología y sistemas humanos como la economía y las ciencias sociales. La creciente capacidad y empleo generalizado de los computadores otorgan nuevas herramientas para apoyar los distintos problemas en que se ven inmersas las diversas disciplinas y áreas del mundo moderno; lo anterior, enmarca la presente investigación en la tecnología de la simulación virtual, la cual implica que personas verdaderas funcionen en sistemas simulados que introducen al ser humano en un sistema digital en el que juegan un papel central ejercitando habilidades de control.

La habilidad del computador para simular ciertas situaciones permite el estudio de problemas que no podrían ser atendidos de otra forma. Por ejemplo, el entrenamiento o preparación tanto del personal cívico como militar; esto sucede cuando es excesivamente caro, debido a la falta de tiempo, conocimiento o imposibilidad física de la situación o simplemente muy peligroso para admitirle usar equipo real a un aprendiz en el mundo real.

Hoy en día la simulación de varias situaciones tácticas y sistemas de armas representa también un método poderoso de análisis usado por los servicios militares. Entre los diferentes tipos de simuladores modernos existentes; los militares están tomando auge permitiendo a un gran número de soldados encontrarse en un campo de batalla común, virtual, interactivo y realista, dándole la posibilidad a los mismos de practicar habilidades de combate tanto físicas como estratégicas, el aprendizaje de procedimientos normales y emergencia, alcanzar alta efectividad en el entrenamiento del tiro al blanco, ensayar tácticas, eventos que pueden ocurrir en momentos determinados dentro de la batalla o guerra real y en ocasiones evitar pérdidas de vidas humanas.

Por lo antes mencionado en Cuba las Fuerzas Armadas Revolucionarias (FAR) como muestra de la preparación militar tienen ante sí un gran reto: lograr un nivel de preparación combativa de las tropas de manera que garanticen su eficiente capacidad de operabilidad; ello debe realizarlo con los mínimos

recursos que la economía del país pueda suministrar, debido a las condiciones del bloqueo y crisis económica existente internacionalmente; pretendiendo lograr óptimas condiciones para enfrentar en determinada situación algún ataque de guerra. Con el fin de lograr esto se han implementado simuladores con este fin, tal es el caso del Simulador de Tiro del C-10 (SimC10).

Este simulador es empleado para el entrenamiento de los soldados antiaéreos en las Unidades Militares Cubanas (UUMM). El mismo es un sistema que intenta replicar la experiencia de batir el blanco aéreo con el cohete C-10 de la forma más precisa y realista posible bajo condiciones meteorológicas normales. Por características del medio ambiente en particular del clima de nuestro país en ocasiones la realización del ejercicio en maniobras reales no refleja resultados satisfactorios, pues el ambiente simulado no está acorde a estas condiciones. Por esta razón es necesaria la implementación de diferentes situaciones meteorológicas que sean capaces de mostrar con mayor exactitud las características de dicho clima.

Con motivo de la problemática presente es importante el estudio de aquellas situaciones meteorológicas que influyen en la ejecución del ejercicio real para introducirlas en el Simulador de Tiro del C-10, como es el caso de la cobertura nubosa. Es por ello que como base de estudio se plantea el siguiente problema de investigación: ¿Cómo determinar la captura del blanco aéreo mediante el sistema de dirección automática del cohete C-10 en un cielo con diferentes tipos de nubes existentes en Cuba?

Teniendo en cuenta las amplias posibilidades que nos brindan las tecnologías de la información, la presente investigación posee como objeto de estudio: el comportamiento del cohete C-10 bajo la acción de las nubes en el simulador virtual.

De ello se deriva que el campo de acción de este trabajo lo constituye los algoritmos para el comportamiento del cohete C-10 bajo la acción de las nubes en el simulador virtual.

Para guiar la investigación y tomando en cuenta lo analizado hasta el momento decidimos trabajar sobre la base de la siguiente idea a defender: el desarrollo de un algoritmo que simule el comportamiento del cohete C-10 en la captura del blanco aéreo bajo la influencia de nubes existentes en Cuba dotará al Simulador de Tiro de mayor realismo ofreciendo como resultado un entrenamiento más completo.

Se tiene como necesidad llevar al simulador el mismo error que posee el armamento real (cohete C-10), es decir cuando este se encuentra haciendo captura automática de un blanco e interfieren nubes se produce captura de la misma, perdiéndose el blanco aéreo.

Por tanto objetivo general para este proyecto de investigación es: modelar un algoritmo para el proceso de captura del banco aéreo del SimC10 con la presencia de nubes.

Del cual se desprenden los siguientes objetivos específicos:

1. Describir los principios de funcionamiento del guiado automático del C-10 en los modos infrarrojo y óptico
2. Identificar los parámetros de las nubes características de Cuba.
3. Elaborar teóricamente un algoritmo simplificado o una versión para el análisis de la efectividad en la captura del cohete C-10 con la presencia de nubes.

Para dar cumplimiento a los objetivos trazados se desarrollan las siguientes tareas:

1. Analizar las fuentes bibliográficas que abordan el tema sobre las propiedades físicas de las nubes y principios de funcionamiento del cohete C-10.
2. Estudiar las características de las nubes propias de nuestro país.
3. Determinar los parámetros físicos que influyen en el funcionamiento del cohete C-10.
4. Caracterizar el mecanismo de orientación del cohete C-10.

Para el desempeño de las tareas propuestas se han empleado los métodos teóricos y empíricos. Entre los empíricos utilizados podemos mencionar las entrevistas orales a los profesores del Instituto Técnico Militar (ITM) “José Martí”, como vía para obtener información necesaria sobre el funcionamiento del complejo coheteril C-10, así como por medio de su experiencia indagar acerca de las nubes que influyen sobre el sistema de captura del cohete. El método histórico-lógico para investigar acerca de los antecedentes existentes del tema y establecer una relación lógica de todos los criterios referidos al tema de investigación y su vinculación al contexto actual cubano, como proyectos informáticos de este tipo implementados y en uso, para conocer sobre su comportamiento y como han interactuado con estos en las UUMM.

Los métodos teóricos utilizados fueron: el método Inductivo deductivo con el objetivo de reflejar la lógica objetiva de las características climatológicas de Cuba en su acción sobre el proceso de captura del blanco aéreo mediante la estructuración de un algoritmo para el SimC10. Otro método fue el analítico sintético para extraer de las revisiones bibliográficas todo el conjunto de teorías y situaciones más actuales que se corresponden al fenómeno que se estudia.

El proyecto de investigación se estructura de la siguiente manera:

Resumen.

Introducción.

Esbozo de tres capítulos: Capítulo 1 titulado “Fundamentación Teórica” se abordaran los antecedentes y estado actual de la temática, así como una breve descripción de los conceptos actuales asociados al problema en cuestión, necesarios para dar cumplimiento a los objetivos trazados.

En el capítulo 2, “Análisis para la Propuesta de Solución” se explica el funcionamiento de autoguiado del C-10, el proceso de compensación del cohete bajo el efecto de las nubes, además de identificar las nubes que influyen sobre el sistema de captura tratando sus características y asignado a cada una valores para su posterior empleo en el simulador, se hace un análisis informático del problema proponiendo un algoritmo general para la solución.

El capítulo 3, “Propuesta de Solución” presenta la situación concreta del problema. Se proponen métodos para detectar la nube, proponiendo uno como solución inmediata al problema en cuestión.

Para finalizar se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, bibliografía, glosario de términos y el conjunto de anexos para un mejor entendimiento de lo expuesto a lo largo del proyecto investigativo.

Como resultado del tránsito de escalones en el contenido existente del tema, el estudio de este fenómeno se convierte en una meta: obtener conocimientos que aporten crédito al desarrollo e implementación de un software con nuevas técnicas y perspectivas que vayan encaminadas a la superación de los usuarios del simulador y por la importancia que reviste el estudio en esta área del conocimiento, se prevé su proliferación en todas aquellas UUMM del país que requieran de su utilización en función de obtener soldados mejor preparados en defensa antiaérea.

## **CAPÍTULO 1**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

---

Los simuladores van adquiriendo mayor importancia, siendo no solo un medio de intercambio comercial sino también una fuente de aprendizaje. Hoy se busca hacer simulaciones reales que sean capaces de mostrar un entorno virtual lo más cercano posible a la realidad.

A continuación se brinda una visión general de los aspectos relacionados con el Simulador de Tiro C-10 (SimC10) y principales conceptos asociados al dominio del problema que son necesarios para entender la propuesta de solución.

#### **1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA. SIMULACIÓN. SIMULADORES DE TIRO**

La simulación es una técnica usada en las ciencias para analizar y estudiar sistemas complejos. El uso moderno de la palabra data de la Segunda Guerra Mundial, donde se resolvieron problemas de reacciones nucleares cuya solución experimental y análisis matemático, sería muy costoso y demasiado complicado. La palabra simulación ha transitado por diferentes ámbitos de la ciencia lo que precisa una definición clara de la misma, partiendo de los criterios abordados respecto al tema, a continuación se hace referencia a algunas de las enunciaciones más acertadas de la palabra simulación.

Se describe simulación como una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, los cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos que describen el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real en períodos extensos de tiempo real(THOMAS TAYLOR 1995).

Más estricto, H.Maisel y G Gnugnol definen simulación como: Una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, industriales, biológicos, físicos y químicos a través de largos períodos de tiempo(GORDON 1995).

Razonamientos como el de Robert E. Shannon, definen simulación: Al proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema del mundo real o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema (SHANNON 1988).

Los que prefieren una definición estrictamente formal, la propuesta por West Churman puede resultar satisfactoria, ya que admite las ambigüedades e inconsistencias inherentes al uso actual de la palabra y define la simulación como (CHURMAN 1983):

Se dice que “x simula a y” si y sólo si:

- a) x y y son sistemas formales;
- b) y se considera como el sistema real;
- c) x se toma como una aproximación del sistema real;
- d) las reglas de validez en x no están exentas de error.

Las definiciones anteriores no especifican si los sistemas modelados son continuos o discretos. Se desprende entonces que, existen simulaciones de sistemas dinámicos continuos y discretos. Dadas las definiciones anteriores, se consigue apuntar que la simulación es la reproducción artificial de un fenómeno, desarrollando modelos matemáticos y lógicos computarizados para aproximarse al funcionamiento de un sistema del mundo real.

### **Ventajas y desventajas de la simulación**

Los significativos adelantos en el área de la simulación han posibilitado que dicha técnica sea una de las herramientas más explotadas en el análisis de sistemas y por sus aportes se consiguen mencionar dentro de las principales ventajas:

- Con el un estudio de la simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema, detectar la interacción e interrelación de las variables más importantes.
- Se puede entender mejor el sistema real y por consiguiente sugerir estrategias que mejoren la eficiencia del sistema.
- Se utiliza para el entrenamiento de personas, brindándole mayor experiencia pues en algunas ocasiones se logra una buena representación de un sistema real.

- El equivalente de días, semanas y meses de un sistema real en operación frecuente puede ser simulado en solo segundos, minutos u horas en un sistema de simulación por computadora. De esta manera un número de alternativas de solución y sus resultados pueden estar disponibles de forma breve.
- Nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede ser usada para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema.
- La observación detallada del sistema que se está simulando conduce a un mejor entendimiento y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del mismo.

La simulación en divergencia con sus ventajas muestra importantes desventajas, como son:

- La simulación sólo provee resultados estimados, no exactos.
- Presenta fallas al optimizar, pues no es una técnica de optimización. Por tanto no generará soluciones, solo evalúa las que han sido propuestas.
- Cualquier estudio de simulación requiere un largo tiempo de conducción para reunir información, construir, verificar y validar modelos, diseñar experimentos y evaluar e interpretar los resultados.
- Se precisa de personal capacitado, software, hardware, entrenamiento y otro tipo de costos para proveer una buena capacidad de simulación.
- No tener conocimiento de una gran variedad de áreas antes de llegar a ser un practicante de la simulación. Ya que cada estudio puede ser incorrectamente desarrollado, estar incompleto, o podría caer en otro tipo de caminos.

Gracias al número de alternativas, méritos y las herramientas muchas de estas desventajas están disminuyendo considerablemente, proporcionándole a esta técnica mayor eficacia(PARRA).

### **Técnicas de simulación**

La simulación es una imagen en perspectiva que muestra el aspecto del proyecto tal y como se vería una vez construido en el contexto real que se propone su localización. Las técnicas de simulación están basadas en sustituir la realidad con sus dimensiones, magnitudes físicas y, por tanto, espacios edificables por una imagen que los represente y que permita obtener la misma fase inicial del proceso de percepción. En todas las técnicas, excepto el maquetismo, la figuración de la realidad es bidimensional.

Las técnicas de simulación han servido y sirven para mostrar al usuario (destinatario único), la propuesta a emprender en su globalidad, y por otro lado, la promoción y venta de construcciones, su publicidad y marketing, en medios de comunicación.

Dentro de las mismas el uso de dibujos y perspectivas sobre bases geométricas de cálculo (puntos de fuga) se ha mantenido como una técnica de simulación con fuerte vigencia en la actualidad. No obstante, los panoramas en perspectiva representan las vistas desde determinados puntos fijos. El conjunto de varios dibujos en perspectiva ayuda a entender la escena paisajística.

Las técnicas más usuales son: dibujos o esquemas a mano alzada, dibujos sobre proyecciones de fotografías o diapositivas, dibujos a pluma sobre fotografías positivadas en acetato y dibujos a color sobre fotografías positivadas a color.

Aunque las maquetas consiguen superar las limitaciones que imponen los dibujos bidimensionales en perspectiva presentando el espacio en su conjunto. Los inconvenientes surgen ante la imposibilidad de obtener puntos de vista (sólo posibles de conseguir mediante sofisticados sistemas fotográficos) y su estatismo, ya que limitan la comprensión global. Además se exige un alto dominio de los materiales de trabajo, del trazo y del color.

El desarrollo de esta técnica permite interpretar de forma fiable la realidad. Sin embargo, el observador tendrá, normalmente, en la maqueta una "vista de pájaro", no obstante para conseguir otros puntos de vista interesantes es necesario utilizar sofisticados sistemas fotográficos.

También se emplea la proyección fotográfica principalmente para transparencias obtenidas de disímiles fotografías, convenientemente tratadas, superpuestas para formar una imagen compuesta. El resultado suele ser refotografiado para su representación final. Existen numerosas técnicas como: retroproyección de transparencias con simulaciones superpuestas, retroproyección de actuaciones en transparencias sobre fondos de terreno en diapositiva, proyección simultánea de diapositivas del lugar (con la silueta de la actuación ennegrecida) y de la actuación (con su entorno ennegrecido).

La simulación experimenta un gran impulso con el tratamiento de la fotografía. La fotografía permite tener una imagen muy parecida a la realidad, se elimina, en gran parte, la artificialidad existente en otros métodos. Este método admite diversas alternativas. Se puede analizar la imagen tomada de la realidad tal cual, sustrayendo alguna de sus partes, añadiendo algún otro elemento procedente de la misma o de otra



escena. Las técnicas de tratamiento de imagen en formato celular o ráster mediante el uso de instrumentos informáticos, incorporan la información visual de la imagen como una extensa base de datos de diminutos puntos que la forman; son los píxeles. La definición de la imagen recae sobre la densidad de puntos con la que se representa la información.

El tratamiento de las fotografías como técnica de simulación paisajística presenta las mismas limitaciones que el uso de dibujos artísticos, con la ventaja de producir un efecto indudablemente más real. Se trata de simulaciones estáticas y desde un punto de vista fijo que pueden requerir el uso de varias imágenes para poder ilustrar el efecto paisajístico global.

La Infografía en formato vectorial representa de forma realista la vegetación aspecto que aún está desarrollándose y donde el empleo de fractales ayuda a conseguir el efecto de naturalidad. La rugosidad de las texturas tiende a sustituirse por superficies jaspeadas con brillo o alternancia de color, mientras que las formas naturales tienden a simplificarse en formas geométricas puras. No obstante, la representación tridimensional por ordenador tiene una gran utilidad en el entendimiento de la composición global de los grandes elementos que componen el paisaje. Las operaciones del ordenador permiten, mediante algoritmos simples, un análisis de este espacio tridimensional virtual.

### **¿Qué es un simulador?**

La complejidad creciente de la tecnología y del mercado, junto con la necesidad de tomar decisiones informadas de forma ágil sabiendo los resultados probables de nuestros actos, ha dado lugar a la aparición de numerosos simuladores.

Un simulador es un cómputo particular que permite la simulación de un sistema, reproduciendo su comportamiento. Los simuladores reproducen sensaciones que en realidad no están sucediendo. En un simulador se imitan efectos físicos (velocidad, aceleración, percepción del entorno) además el comportamiento de los equipos de la máquina que se pretende simular.

El objetivo principal de un simulador para entrenamiento es que sus usuarios aprendan a utilizar máquinas reales sin tener que utilizar la propia maquinaria. Por ello, tanto el desarrollo como la utilización de un simulador deben ser diseñados con este fin.

Hay muchos ejemplos, que van desde los simuladores de juegos pasando por los financieros y de mercadotecnia, de procesos productivos o urbanísticos, los de vuelos utilizados para el entrenamiento profesional de pilotos comerciales y militares, hasta los simuladores científicos que se ocupan de predecir aspectos tan prácticos como la meteorología(WIKIPEDIA).

### **Características de los simuladores**

- Escenarios virtuales con imágenes reales
- Reproducción del sonido real durante la simulación.
- Modelo matemático diseñado para cada simulación.
- Reproducción de cabina real simuladas.
- Simulación de inercias para dar respuesta a las acciones del usuario, a impactos.
- Interfaz de instructor con acceso a información sobre sesiones anteriores y control sobre todos los elementos del sistema.
- Diseño instruccional que permite su máximo óptimo aprovechamiento.
- Manual del puesto de instructor.
- Manual de ejercicios.
- Sistema de base de datos de operarios, tanto aprendices como avanzados
- Sistema de seguimiento del programa de aprendizaje
- Obtención de informes, resúmenes, etc.
- Visualización de la simulación en el puesto de instructor
- Prácticas guiadas por medio de mensajes en la pantalla del simulador
- Registro de operaciones no permitidas y de maniobras peligrosas.

### **Simulador de tiro**

Los simuladores de tiro son sistema que permite mediante la utilización de tecnología de realidad virtual, reproducir en un determinado ambiente una situación real del empleo de armas, brindando la interacción del combatiente con el escenario.

Entre los distintos tipos de simuladores que se pueden encontrar desde el punto de vista militar, los simuladores de tiro se introducen en los de educación y entrenamiento, por emplearse en ejercicios de

adiestramiento proporcionando un conocimiento sobre procedimientos y tácticas de combate. Además de poder enfocarse en el adiestramiento individual, de grupos o equipos.

### El SimC10

La empresa cubana SIMPRO trabaja en la fabricación de un simulador de tiro para el cohete C-10 “**El SimC10**” que estará compuesto por:

- Puesto del Instructor computarizado.
- Puestos del Operador computarizado.
- Interfases de electrónica.
- Software de dirección gráfica 3D empleando las técnicas de la realidad virtual.
- Software de evaluación de los resultados del tiro.
- Intranet para el intercambio de datos entre los diferentes puestos.
- Sistema de sonido.

El SimC10 se regirá por el algoritmo general simplificado de trabajo combativo que se muestra a continuación



**Fig. 1.1** Algoritmo general simplificado de trabajo combativo del complejo coheteril C-10

Los ejercicios que pueden ser creados para emplearlos en el entrenamiento de las tropas utilizando el SimC10 tienen las siguientes características:

- El número máximo de blancos simultáneos es de 10.
- El número máximo de nodos del plan de vuelo de un blanco es 256.
- Las maniobras eventuales no pueden ser mayores de 20

Los ejercicios del SimC10 tienen programado el plan de vuelo para cada blanco, las maniobras que debe hacer cuando ocurra algún evento en el C-10 como por ejemplo el lanzamiento de un cohete, y las formas en que serán lanzadas las interferencias opto-calóricas.

Cuando el instructor activa los blancos estos comienzan a observarse en el simulador en correspondencia con el plan de vuelo programado y realizará las maniobras de vuelo o eventuales automáticamente sin la necesidad de que intervenga el instructor.

El SimC10 tiene distintos tipos de aeronaves, cada una de ellas a su vez un plan de vuelo y maniobras eventuales que realizará. Las interferencias que pueden provocar que el cohete C-10 no impacte el blanco pueden ser fuentes de calor o luminosas. En esta versión pueden ser las bengalas que lanzan los blancos y las nubes que tienen ciertos parámetros ópticos y térmicos, en las que profundizaremos en lo adelante.

### **Antecedentes y estado actual**

En los últimos años, gracias a la evolución de la tecnología, el desarrollo de los simuladores de tiro ha sido especialmente espectacular, tanto desde el punto de vista comercial como en lo que respecta a sus prestaciones, capacidades gráficas y sonoras, informáticas y audiovisuales.

La tendencia mundial actual con relación al entrenamiento del tiro de artillería se incrementa cada vez más hacia el empleo de simuladores utilizando las técnicas de la realidad virtual. Estos sistemas de simulación constituyen una apreciable herramienta para el entrenamiento de combate del personal, cuya importancia, eficacia y valor no siempre son adecuadamente dimensionados. La gran tendencia que existe en el mundo al desarrollo de los sistemas de simulación de tiro se debe por el cuidado de la vida humana, prolongación de la vida útil del material, las limitaciones de campos de tiro y su gran sentido económico. Estos sistemas pueden ser usados en forma continua durante muchos años a un bajo precio de mantenimiento, y tienen una vida útil prolongada. Un hecho concreto y sin lugar a dudas de trascendencia

es la utilización de sistemas de simulación para la preservación del medio ambiente siendo esta actitud muy valorada y apoyada por todos aquellos que sienten una espontánea preocupación por el tema.

En los ejércitos de los países desarrollados como EE.UU., Francia, Inglaterra, etc. se diseñan y construyen simuladores de tiro artillero. A continuación se muestran algunos ejemplos de simuladores de tiro indirecto de artillería empleados en ejércitos extranjeros:

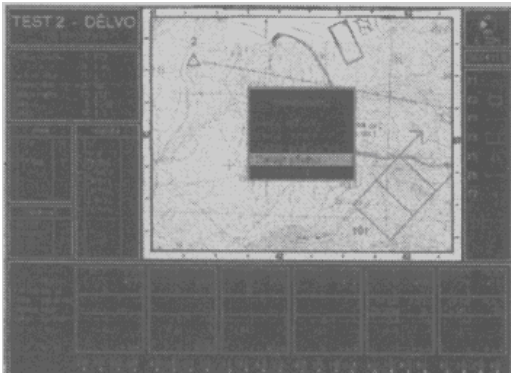
Noptel es una empresa finlandesa que ha introducido un sistema óptico avanzado de análisis y simulación de tiro que puede ser utilizado a diario por militares, fuerzas y cuerpos de seguridad y deportistas. Dicha empresa es experta en tecnologías para condiciones medioambientales extremas y análisis técnico de disparos. El concepto Noptel hace posible la instrucción en cualquier sitio, interior o exterior, con distancias y condiciones medioambientales reales, usando "dry fire" (tiro seco), un sistema avanzado de retroceso o cartuchos de fogeo para dar realismo a la instrucción. Dentro de los productos obtenidos por Noptel podemos mencionar(NOPTEL):

- Noptel 2000 que es un producto seguro, ligero, portátil, transportable, fácil de usar y reduce al mínimo el tiempo necesario para realizar las sesiones de entrenamiento.
- ST-2000 MilTrainer, simulador ligero para su uso con rifles en interiores y exteriores. También es posible utilizar al mismo tiempo un sistema de retroceso neumático y dianas.
- ST-2000 PistolTrainer, realizado para uso interior con pistolas reglamentarias. También es posible utilizar al mismo tiempo un sistema de retroceso neumático.

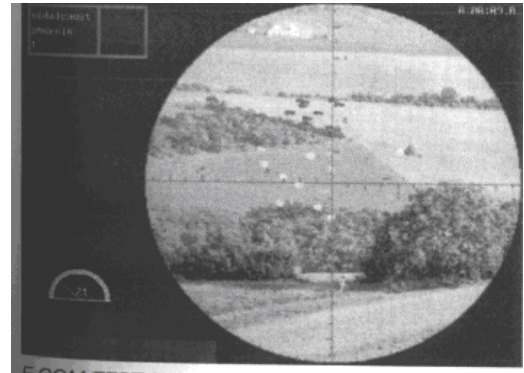
El Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA) de Argentina también ha evolucionado aceleradamente, tan así es que sus objetivos son muy cercanos a incursionar en los más complejos sistemas de simulación. Algunos nombres de los sistemas de simulación, que se pueden mencionar ya desarrollados por esta institución son: RELÁMPAGO, ENTIR, SIMRA, SISEVALTIR, SITAN, SIMOA, SIMOA II y SIMRA II(GUGLIELMONE).

La Oficina de Investigación y Desarrollo en convenio con el Centro de Desarrollo de Proyecto de la Fuerza Aérea del Perú implementaron el Polígono de Tiro Virtual el cual simula diferentes escenarios para el entrenamiento de fuerzas regulares y fuerzas especiales. Cada tirador puede solicitar a la estación de control del simulador, la evaluación de los disparos realizados, pudiendo acercarse al blanco a distancia mínima y poder visualizar el efecto de estos disparos, así como un reporte escrito al final de cada ejercicio o evento.

El Simulador TEST-2 fue construido en la República Checa por la firma E – COM para el entrenamiento del tiro indirecto con varios observadores. El jefe artillero utiliza el mapa digitalizado que se muestra en la fig. 1.2 mientras que la imagen simulada del observador se muestra en la fig. 1.3.



**Fig.1.2** Mapa del jefe



**Fig. 1.3** Imagen del Observador

Simulador del Observador Artillero, es un simulador israelita construido por la firma Simagine que es un consorcio de la Siemens holandesa y la Simtech israelita. Utiliza imágenes proyectadas o un sistema visual basado en monitores utilizando workstations. Simula binoculares, goniómetros, telémetros láser y visores infrarrojos. Las imágenes incluyen terrenos, blancos, día/noche, lluvia, efectos en el campo de batalla; como humo, explosiones y otros. Dicho software se encuentra en servicio en el ejército israelí y de los EE.UU.

La firma inglesa Phoenix Simulation Ltd construyó el Simulador del Observador de Artillería destinado al entrenamiento interactivo entre los observadores, jefes de baterías y dotación del cañón. El sistema puede ser transportable y con sistema de proyección simple o múltiple. Dispone de 30 blancos diferentes que incluyen vehículos, cañones, helicópteros, concentraciones de tropas, posiciones de cañones antitanques. Emplea mapas digitalizados de cada localización de los observadores.

A menudo, los simuladores de tiro forman parte de los suministros de armas de fuego. En Cuba, una de las empresas que ha promovido el desarrollo de los simuladores de tiros es el “Centro de Investigación y Desarrollo 2” (CID2) conocido en el mercado como SIMPRO (Simuladores Profesionales). La empresa SIMPRO se ha dedicado al desarrollo de simuladores fundamentalmente para las FAR. Estos simuladores son usados para ejercitar al tirador la práctica del tiro con armas de infantería, Tiro con Tanques, Tiro con BMP (cohete antitanque BM14M), Tiro Directo de Artillería, Tiro con Lanzacohetes en

las condiciones reglamentarias, y en otras que posibiliten alcanzar un alto grado de destreza; permitido la acumulación de cierto nivel de experiencia en los mismos, así como en la aplicación de las técnicas de la realidad virtual con fines militares.

Estos simuladores pueden ser colocados en otros países cuyas Fuerzas Armadas dispongan de este tipo de armamento, como es el caso del continente africano donde se han manifestado intenciones de la industria militar sudafricana de cooperar en este sentido. Actualmente, SIMPRO desarrolla el **SimC10** para el entrenamiento de tiro con los complejos coheteriles antiaéreos. Este simulador corre el riesgo de ser el primero de su tipo, induciendo una implementación y enriquecimiento bajo rigurosas investigaciones. Un ejemplo de esto lo constituyen la introducción de las nubes al mismo como vía de entrenamiento eficaz a los usuarios.

## 1.2 LAS NUBES

Las nubes son un elemento natural que en las condiciones meteorológica de Cuba tienen una influencia determinante en la realización de tiros exitosos del C-10 y por ello es importante el entrenamiento de las tropas bajo estas condiciones. Por ello es necesario realizar un estudio de las nubes que aporte una base de conocimientos para añadir al simulador mayor realidad. En lo adelante se identifican las nubes características de Cuba y sus parámetros.

### ¿Que son las nubes?

Una nube es un hidrometeoro. Para comprender la expresión hidrometeoro, se debe saber que un meteoro es por definición un fenómeno observado en la atmósfera, consistente en una suspensión o depósito de partículas líquidas o sólidas o una manifestación de naturaleza óptica o eléctrica. Entonces un hidrometeoro es un meteoro consistente en un conjunto de partículas de agua líquida o sólida, suspendidas en la atmósfera como nubes o niebla, o que caen a través de ella como lluvia, nieve o granizo.

Las nubes dispersan toda la luz visible, y por eso se ven blancas. Sin embargo, a veces son demasiado gruesas o densas como para que la luz las atraviese, y entonces se ven grises o incluso negras. Las nubes son esenciales en el balance radiactivo de la atmósfera pues son capaces de reflejar la radiación

de onda corta proveniente del sol (radiación visible) y absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre. En el interior de las nubes, las pequeñas gotitas o cristales de hielo pueden crecer para luego formar gotas de lluvia.

Las nubes se clasifican sobre la base de dos criterios: según la forma que presentan y la altura donde se ubican.

Según su forma se reconocen tres clases básicas de nubes. Todas las nubes caen dentro de algunas de estas tres formas básicas o de una combinación de ellas.

- a) Cirros: nubes altas, blancas y delgadas.
- b) Cúmulos: masa de nube globular, de base plana y que se eleva como domos o torre.
- c) Estratos: aparecen en capas cubriendo gran parte del cielo.

Según su altura, se reconocen por su ubicación en tres niveles típicos. Estos no son valores categóricos, ya que pueden variar según la época del año y la latitud. Ver anexo 1.

- a) Nubes altas: normalmente tienen base sobre los 6.000 m de altura.
- b) Nubes medias: se encuentran entre 2.000 y 8.000 m de altura.
- c) Nubes bajas: desde la superficie hasta los 2.000 m de altura

Todas estas características específicas dan lugar a establecer una clasificación de las nubes en diferentes grupos o géneros. Pero dentro de estos géneros existen una infinidad de variantes y formas, que se conocen como especies. Las más importantes son las siguientes: Cirrocúmulos undulatus, Altocúmulos undulatus, Estratocúmulos lenticularis, Altoestratos lenticularis, Cúmulos fractus, Estratos fractus, Cúmulos humilis, Cúmulos mediocris, Cúmulos congestus, Altocúmulos castellanus, Cirrocúmulos castellanus, Cirroestratos nebulosus, Estratos nebulosus.

Las nubes de nivel alto son aquellas que tienen la base a más de 6.000 m. de altura y se encuentran en la troposfera, donde hay temperaturas bajo cero, incluso en verano. Están constituidas por cristales de hielo. Las nubes de nivel alto se denominan cirros (Ci), Cirroestratos (Cs) y Cirrocúmulos (Cc). Son tan altas que están más bien hechas de millones de cristales diminutos y no tanto de las gotitas de agua que hay a menor altitud.



En el nivel medio se encuentran las nubes que tienen la base de 2.000 a 8.000 m en el trópico y se encuentran en la troposfera. Están constituidas por cristales y gotas de agua. Estas nubes con el prefijo "alto" se denominan Altoestratos (As) y Altocúmulos (Ac).

Las nubes bajas se encuentran entre el nivel del suelo y los 2.000 m de altura en la troposfera. Se componen generalmente de gotas de agua y se denominan: Estratos (St), Estratocúmulos (Sc) y Nimboestratos (Ns).

Las nubes de desarrollo vertical son los: Cúmulos (Cu) y Cúmulonimbos (Cb). Estas son un tipo especial de nube (nubes de desarrollo vertical), que aunque tengan sus bases en el piso inferior, alcanzan a menudo una extensión vertical localizable en el nivel medio, e incluso en el superior. Por sus dimensiones verticales y características físicas muy particulares, se distingue de todas las demás; algunos han dado por llamarle "la madre de las nubes".

Una vez que el simulador cuente con la presencia de nubes existentes en nuestro país es necesario desarrollar un algoritmo que simule el comportamiento del C-10 bajo la influencia de las mismas

### 1.3 ALGORITMOS

La representación de información es fundamental para las Ciencias de la Computación, es mucho más que el estudio de cómo usar o programar las computadoras. Se ocupa de algoritmos, métodos de calcular resultados, que refiere el uso de métodos sistemáticos para encontrar soluciones a problemas algebraicos o simbólicos. La construcción de algoritmos es una habilidad elegante de un gran significado práctico. Computadoras más poderosas no disminuyen el significado de algoritmos veloces. En la mayoría de las aplicaciones no es el hardware el cuello de botella sino más bien el software inefectivo.

#### **Definición de Algoritmo**

Partiendo de los criterios dados por autores sobre la definición de algoritmo, el concepto intuitivo de algoritmo, lo tenemos prácticamente todos: Un algoritmo es una serie finita de pasos para resolver un problema.

Hay que hacer énfasis en dos aspectos para que un algoritmo exista:

1. El número de pasos debe ser finito. De esta manera el algoritmo debe terminar en un tiempo finito con la solución del problema.
2. El algoritmo debe ser capaz de determinar la solución del problema.

De este modo, se define algoritmo como un “conjunto de reglas operacionales inherentes a un cómputo”. Se trata de un método sistemático, susceptible de ser realizado mecánicamente, para resolver un problema dado.

Para solucionar computacionalmente un problema se requiere obtener datos de alguna materia.

1. Seleccionar un modelo matemático – computacional adecuado para el problema.
2. Concebir con respecto a dicho modelo un algoritmo que de solución al algoritmo.
3. Programar el algoritmo en algún lenguaje de programación y ejecutar el programa en una computadora.

### **Características de un algoritmo**

1. Entrada: definir lo que necesita el algoritmo.
2. Salida: definir lo que produce.
3. No ambiguo: explícito, siempre sabe qué comando ejecutar.
4. Finito: el algoritmo termina en un número finito de pasos.
5. Correcto: hace lo que se supone que debe hacer. La solución es correcta.
6. Efectividad: cada instrucción se completa en tiempo finito. Cada instrucción debe ser lo suficientemente básica como para que en principio pueda ser ejecutada por cualquier persona usando papel y lápiz.
7. General: debe ser lo suficientemente general como para contemplar todos los casos de entrada.

### **Eficiencia y eficacia**

Siempre que se trata de resolver un problema, puede interesar considerar distintos algoritmos, con el fin de utilizar el más eficiente. Un objetivo natural en el desarrollo de un programa computacional es mantener tan bajo como sea posible el consumo de los diversos recursos, aprovechándolos de la mejor manera que se encuentre.

Para que un programa sea práctico, en términos de requerimientos de almacenamiento y tiempo de ejecución, debe organizar sus datos en una forma que apoye el procesamiento eficiente. Un algoritmo es eficiente cuando logra llegar a sus objetivos planteados utilizando la menor cantidad de recursos posibles, es decir, minimizando el uso memoria, de pasos y de esfuerzo humano. Un algoritmo es eficaz cuando alcanza el objetivo primordial, el análisis de resolución del problema se lo realiza prioritariamente. Puede darse el caso de que exista un algoritmo eficaz pero no eficiente, en lo posible debemos de manejar estos dos conceptos conjuntamente.

Es evidente que con una buena modelación de un algoritmo que sea capaz de determinar si alguna nube interfiere en el proceso de captura del blanco aéreo por el cohete, se logara que el SimC10 goce de mejoras funcionales para así contribuir su mejor desempeño.

## **CONCLUSIONES**

Teniendo claro que para la cimentación de este proyecto no se cuenta con antecedentes de la temática, se ha logrado definir conceptos que delimitan el proyecto investigativo y sirven de sustento. Además se puntualizó el algoritmo general simplificado de trabajo combativo para regir el SimC10.

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS PARA LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

---

En este capítulo se hará referencia al principio básico de funcionamiento del cohete, la influencia de las nubes en la efectividad de la captura del blanco aéreo, así como la compensación que realiza el C-10 para evitar que las nubes rompan la captura del cohete. Además de identificar los parámetros de las nubes características de Cuba, los tipos que influyen sobre el sistema infrarrojo y óptico del cohete detallando sus datos.

#### **2.1 PRINCIPIO DE TRABAJO DEL GUIADO AUTOMÁTICO DEL C10. INFRARROJO Y ÓPTICO**

Para determinar si hay contraste de un objetivo en el fondo ambiente, se analiza la diferencia entre las propiedades físicas del objetivo y del fondo. El fondo es el medio ambiente que rodea el objetivo. Para los objetivos aéreos el fondo es la atmósfera; para los objetivos terrestres, la superficie de la tierra con todos los objetos situados sobre ella, para los objetivos marítimos el fondo es el agua. Muchos objetivos militares importantes: aviones, cohetes, satélites artificiales, buques, puentes, fábricas metalúrgicas centros de industria militar, se distinguen mucho del fondo que los rodea según sus propiedades de radiación o reflexión de las oscilaciones electromagnéticas.

La causa de radiación es la aceleración de las cargas eléctricas en el interior de los cuerpos. La energía de las oscilaciones electromagnéticas radiadas por los cuerpos, se reparte irregularmente entre las longitudes de ondas; la intensidad de oscilaciones de ondas de unas longitudes es mayor que de otras. La distribución de la energía de oscilaciones entre las longitudes de ondas está en función de la temperatura y propiedades de los cuerpos. Los cálculos teóricos e investigaciones experimentales demuestran que las temperaturas de los cuerpos en el intervalo desde varias decenas hasta centenares de grados centígrados la energía de radiación se encuentra concentrada principalmente en la gama de ondas infrarrojas (0,74 - 400  $\mu$ ). En este caso dicen que los cuerpos son fuentes de radiación infrarroja (térmica).

La atenuación de la potencia de radiación infrarroja en la atmósfera es debido a la dispersión y absorción de las oscilaciones electromagnéticas. La causa de la dispersión es la heterogeneidad de la atmósfera

debido a lo cual sucede la refracción, reflexión y difracción de las ondas electromagnéticas en las moléculas de los gases y en las pequeñas partículas.

La absorción de la radiación infrarroja en la atmósfera se debe a la transformación de la energía de las oscilaciones electromagnéticas en otras especies de energía: la mecánica y la química. La absorción lleva un carácter selectivo claramente expresado. El ozono, el gas carbónico y el vapor de agua son los elementos, cuyo papel en la absorción es el más importante.

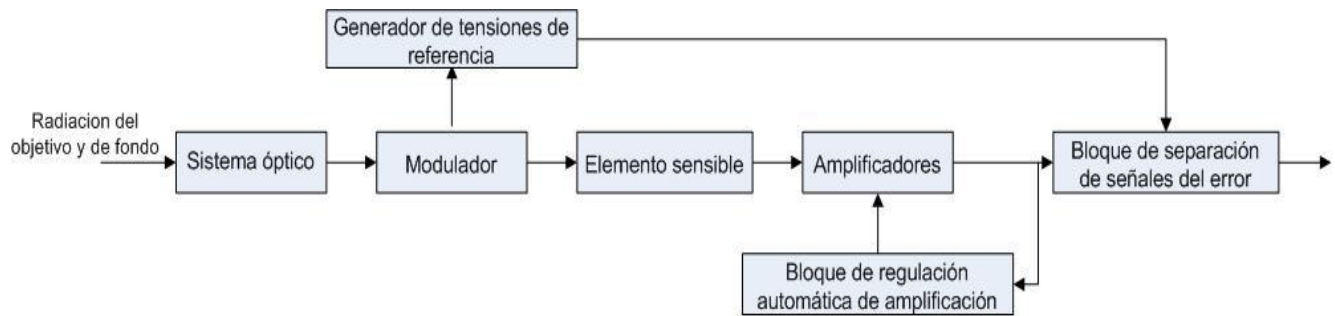
La influencia de la atenuación y absorción se tiene en cuenta en forma cuantitativa con ayuda del coeficiente de transmisión  $\tau_a(\lambda)$ , que depende de la longitud de onda.

La radiación de la atmósfera es resultado de la radiación de los gases calentados, de la dispersión y reflexión de la radiación solar. Los reflectores particularmente fuertes son las nubes que reflejan no sólo la radiación solar sino también la radiación de la superficie terrestre. El máximo de la energía de radiación de la atmósfera se halla situado en la gama de ondas electromagnéticas ultravioletas, con lo cual se explica el color celeste de la atmósfera. La distribución de la potencia de radiación de la atmósfera según las longitudes de ondas, área y en el espacio depende mucho de la altura sobre el nivel del mar, grado de transparencia de la atmósfera y del tiempo.

La comparación de dos fuentes de radiación, el avión y la atmósfera, indica que esas dos fuentes difieren una de otra en dimensiones y en composición espectral de la radiación. Los aviones son fuentes de radiación puntiformes y el fondo, una fuente espacial. La potencia de radiación principal de los aviones está concentrada en el sector infrarrojo del espectro de la escala de las ondas electromagnéticas, y la potencia de radiación principal del fondo, en el sector ultravioleta del espectro. De tal modo el contraste de los aviones que permite observarlos en el fondo ambiente, son las diferencias espaciales espectrales de las fuentes de radiación. En este contraste se basa la construcción del coordinador del objetivo infrarrojo del sistema de autoguiado del cohete C-10.

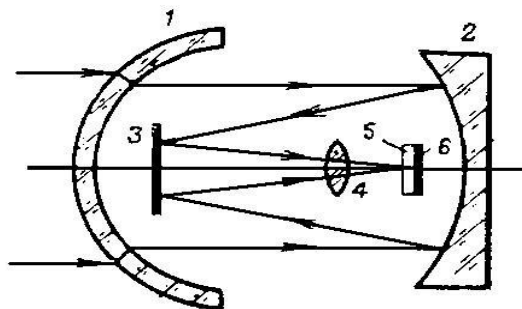
La cantidad de la energía reflejada por el objetivo depende de las dimensiones, material, configuración y posición del objetivo con relación al frente de la onda radioeléctrica irradiante. Al irradiar un objetivo, por ejemplo un avión, por la radiación de intensidad uniforme, la cantidad de la energía reflejada en distintas direcciones no será igual. La causa de ello es la configuración compleja y heterogeneidad del material del objetivo.

El esquema funcional de un coordinador óptico de objetivo se representa en la figura 2.1. El coordinador está compuesto por: sistema óptico, modulador, elemento sensible, amplificadores, bloque de separación de señales del error, generador de tensiones de referencia y bloque de regulación automática de amplificación.



**Fig.2.1** Esquema funcional del coordinador óptico del objetivo.

El sistema óptico recoge la radiación procedente del objetivo y la fija en forma de una mancha de pequeñas dimensiones (décimas de milímetro) en el elemento sensible. En la figura 2.2 va expuesto el esquema de un sistema óptico moderno construido a base de espejos y lentes, que se emplea en los sistemas de autoguiado. La radiación procedida del objetivo y del fondo ambiente pasa por la cúpula 1; siendo reflejado del espejo esférico 2 el flujo radiante se refleja del espejo plano 3, pasa a través de la lente 4 y filtro 5 y llega al elemento sensible 6. La cúpula y la lente se emplean para disminuir distorsiones (aberraciones) producidas por el sistema óptico.



**Fig. 2.2.** Sistema óptico: 1. Cúpula, 2. Espejo esférico, 3. Espejo plano, 4. Lente, 5. Filtro, 6. Elemento sensible.

Las cúpulas se fabrican de materiales que poseen alta resistencia mecánica y que dejan pasar fácilmente la radiación infrarroja. Los espejos del sistema óptico se fabrican de vidrios o plásticos cubiertos por el exterior de plata, oro, cobre o aluminio. El filtro en el sistema óptico está destinado a elevar el contraste del objetivo.

La radiación de los objetivos, por ejemplo aviones, en su espectro difiere de la radiación del fondo ambiente. Si se elige un filtro con coeficiente grande de transmisión en la gama infrarroja y coeficiente pequeño de transmisión en la ultravioleta, entonces tal filtro asegurará una atenuación considerable de radiación del fondo en comparación con la radiación del objetivo. Como resultado será realizada la filtración espectral (óptica) del objetivo. En calidad de filtros se utilizan silicio, germanio, gelatina y otros materiales. El papel de filtros pueden cumplirlo también los espejos del sistema óptico. Para esto la superficie del espejo se cubre con una capa fina de películas de germanio y óxido de silicio, las cuales disminuyen mucho el coeficiente de reflexión, siendo menores de  $1 \mu$  las longitudes de ondas radiadas.

En el coordinador óptico del objetivo del sistema de autoguiado del cohete como modulador se emplean discos moduladores. Su destinación es la filtración espacial del objetivo en el fondo. Dicha filtración se basa en que el objetivo representa una fuente puntiforme de radiación y el fondo, una fuente espacial.

El disco es una placa redonda de unos milímetros de diámetro, hecha de material ópticamente transparente. En la placa está grabado un dibujo complejo: sobre una mitad del disco van grabados alternativamente los sectores transparentes y no transparentes, sobre la otra, los semicírculos concéntricos no transparentes. El número de estos semicírculos es tal, que la transparencia media de ambas mitades del disco sea igual. El disco modulador gira con la velocidad angular constante. Si el campo visual del sistema óptico carece del objetivo y el fondo es un radiador homogéneo (el cielo despejado celeste), entonces con el giro del disco no habrá modulación del flujo de radiación. Se explica de modo siguiente: la transparencia de ambas mitades del disco es igual y a cualquier posición del disco dos mitades dejan pasar el flujo de radiación de intensidad igual. Pasado por el disco, el flujo de radiación irradia la fotorresistencia. La magnitud de la irradiación intrínseca de la fotorresistencia por el fondo se puede representar condicionalmente en forma de un nivel constante.

Lo expuesto señala que el disco modulador permite realizar la localización del objetivo puntiforme sobre el fondo homogéneo y junto con el generador de tensiones de referencia determinar las coordenadas de la posición del objetivo. Prácticamente el fondo muy raramente tiene el carácter homogéneo. De ordinario

siempre se tienen heterogeneidades, por ejemplo, nubes. El fondo heterogéneo crea una irradiación intrínseca heterogénea de la fotorresistencia. Al girar el disco modulador, debido a la heterogeneidad del fondo ambiente surge una señal variable complementaria que será un ruido parásito. No obstante, la heterogeneidad del ambiente tiene dimensiones considerables en comparación con las del objetivo (por ejemplo, las dimensiones de una nube son muy grandes en comparación con las dimensiones de un avión), por eso la imagen de la heterogeneidad del fondo en el disco modulador se sobrepondrá al mismo tiempo con varios sectores transparentes y no transparentes del disco. He aquí por que la amplitud de la componente variable, debido a la heterogeneidad del fondo, será menor que la amplitud de la señal variable producida por la radiación del objetivo. En esto consiste la filtración del objetivo.

Las características principales del coordinador óptico del objetivo son el ángulo del campo visual, el alcance y la precisión de medición de las coordenadas. El ángulo del campo visual se determina por los parámetros de la construcción del sistema óptico. Desde el punto de vista táctico es racional aumentar el ángulo del campo visual, ya que con ello aumenta el sector del espacio en el cual el coordinador puede localizar el objetivo. Pero con el aumento del ángulo del campo visual crece también la potencia de radiación del fondo recibida por el coordinador. Por eso existe un valor óptimo del ángulo del campo visual. Conviene distinguir el alcance máximo y el mínimo del coordinador óptico. El alcance máximo es un alcance al cual el coordinador detecta el objetivo. El alcance máximo depende de la potencia de la señal útil del objetivo, interferencias causadas por la radiación del fondo y de los parámetros del coordinador (ángulo del campo visual y sensibilidad de la fotorresistencia). El alcance mínimo es un alcance en el cual ocurre la "ceguera" del coordinador. A pequeñas distancias hasta el objetivo sus dimensiones angulares se hacen tan grandes que cierran por completo todo el campo visual del coordinador.

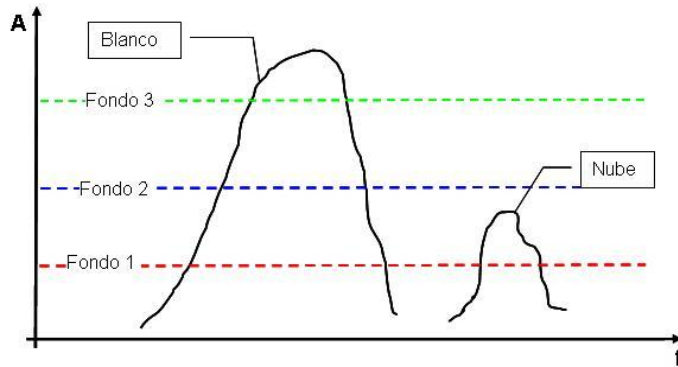
La precisión de la determinación de las coordenadas depende de las interferencias del fondo, de los ruidos interiores y de la exactitud de fabricación de los elementos del coordinador del objetivo (FAR).

## **2.2 COMPENSACIÓN DEL C-10 BAJO EL EFECTO DE LAS NUBES**

La introducción de las nubes en los ejercicios simulados conlleva a un estudio de su forma y color para determinar cuánto influye sobre la cabeza de autodirección del cohete. El sistema de conducción del misil está dado por dos canales: fotocontraste e infrarrojo. La compensación del efecto de las nubes se realiza mediante el conmutador Fondo situado en el panel OP1. Este conmutador tiene 3 posiciones (1,2 y 3). El



principio de funcionamiento de dicha compensación se basa en el cambio de la sensibilidad del canal receptor del lazo de dirección de la cabeza del cohete, o sea, es un filtro por amplitud de la señal eléctrica de las radiaciones recibidas por el canal.



**Fig.2.3.** Espectro de frecuencia de la radiación óptica de una nube y un blanco

En la figura 2.3 se muestra el espectro de frecuencia de la radiación óptica de una nube y un blanco. Como se ve, la nube sobrepasa el umbral para el fondo 1 y puede romper la captura. Sin embargo, con fondo 2 ó 3 las componentes espectrales de la nube no pasarían a través del receptor y no afectarían la captura del blanco.

Para realizar la compensación del efecto de las nubes en el simulador hay que asignarle un número entre 0 y 3 a la nube que significa lo siguiente: sí el cohete está en régimen óptico y el valor es 0 entonces la nube no interfiere el vuelo del C-10. Los valores entre 1 y 3 coinciden con los del conmutador Fondo del C-10. Cuando la nube tiene un valor del parámetro óptico igual a 1 y el conmutador Fondo se encuentra en 1, entonces, sí durante el estudio del fondo ambiente o el vuelo del cohete este se orienta hacia dicha nube habrá captura de la misma por el cohete. Sin embargo, sí el conmutador Fondo se encuentra en 2 ó 3, la nube no interfiere en la captura del blanco por el cohete aunque esté orientado hacia la nube.

En el régimen térmico con el balón de nitrógeno enfriando la cabeza ocurre igual que en el óptico. Para este caso hay que tener en cuenta que la nube desprende calor. Por tanto, si la distancia entre la nube y el cohete es pequeña, el calor irradiado interfiere sobre la cabeza produciéndose la captura de la misma. Se debe tomar como medida no disparar el cohete en zonas donde existan fuentes de calor cercanas a la trayectoria del cohete, tales como fuegos, chimeneas humeantes, bengalas, nubes iridiscentes (bordes luminosos).

De esta forma queda explicado el procedimiento de análisis del fondo ambiente por el sistema de captura del C-10, así como los pasos para la compensación bajo la influencia de las nubes.

### **2.3 IDENTIFICAR LAS NUBES CARACTERÍSTICAS DE CUBA Y SUS PARÁMETROS**

Cuba está ubicada en una zona tropical, con abundante radiación, lo que da paso al desarrollo de distintos tipos de nubes con características propias. Aunque no hay un instrumento meteorológico capaz de clasificarlas se han encontrado trabajos que permite ubicarlas por su forma y aspecto entre los diez géneros de nubes existentes. Las nubes que predominan en Cuba son: Cúmulos (Cu), Cúmulonimbos (Cb) y Estratos (St).

#### **Cúmulos (Cu)**

##### **Definición**

Los cúmulos (Cu) son nubes de desarrollo vertical. Estas tienen generalmente una base llana y horizontal que se halla a una altitud de 800 a 1.000 m. Estas nubes deben principalmente su origen a las corrientes ascendentes del aire cargado de vapor de agua y se desarrollan a temperaturas altas. Empiezan a nacer, por lo común poco después de la salida del Sol, creciendo en número y volumen hasta las horas más cálidas del día, para disminuir y declinar al atardecer, en que se extienden en fajas horizontales y luego desaparecer al cerrar la noche. Pueden ser de origen orográfico o térmico (conectivas).

Humilis, mediocris, congestus fractus son las especies más típicas dentro de los cúmulos. Las Cúmulos humilis (Cu hum) se encuentran a más de 6000 m de altitud, aunque típicamente aparecen mucho más abajo. Por debajo de la base de esta especie, la atmósfera puede estar turbulenta, provocando a aeronaves, turbulencia. Las partes de estas nubes iluminadas por el Sol son, en su mayoría, de un blanco brillante.

Las nubes Cúmulos mediocris (Cu med) se encuentran entre de 500 y 2000 m, son ligeramente más larga en desarrollo vertical que Cúmulos humilis. Este tipo de nubes pueden estar envuelta dentro de Cúmulos congestus y Cumulonimbo, mientras que las Cúmulos congestus (Cu con) están por encima de 5 000 m y se caracterizan por un fuerte desarrollo vertical. Los congestus son Cúmulos fuertemente brotados de contornos en general bien definidos. La parte superior emergente frecuentemente parece una coliflor.

En las Cúmulos fractus (Cu fra) se aprecian pequeños bordes muy rasgados, cuyos contornos experimentan continuamente cambios con frecuencia rápidos. Las partes de estas nubes iluminadas por el Sol son, en su mayoría, de un blanco brillante; cuyos contornos experimentan continuamente cambios con frecuencia rápidos, su base es relativamente oscura y casi horizontal.

### **Constitución física y aspecto**

Están constituidas principalmente por goticas de agua. Pueden formarse cristales de hielo en las partes superiores de la nube donde la temperatura descienda de los 0 °C. La dimensión vertical varía mucho pudiendo ser de forma más o menos aplanada hasta una coliflor protuberante. Los Cúmulos de mayor dimensión vertical dan lugar a precipitaciones en forma de chubascos de lluvia.

### **Formación**

Los Cúmulos se originan debido al efecto de corrientes convectivas que aparecen cuando la disminución vertical de la temperatura es suficientemente grande en las capas bajas de la atmósfera. Este decrecimiento vertical de la temperatura puede deberse a:

Un calentamiento del aire en la proximidad de la superficie terrestre por la radiación solar o por desplazarse sobre una superficie más caliente.

Un enfriamiento por advección de aire frío en altura con expansión vertical.

Pueden provenir de la evolución de estratos, stratocúmulos o de altocúmulos.

### **Cúmulonimbos (Cb)**

#### **Definición**

Cúmulonimbos proviene del latín "cúmulus" y "nimbus". Son nubes bajas de gran desarrollo vertical, con una base a poca altitud, unos 800 m del suelo. La parte alta de esta nube puede alcanzar los 12 000 m. rara vez pueden alcanzar los 18 000 m. de altura y penetrar en la estratosfera. Nube densa y potente, de dimensión vertical considerable en forma de montaña o de enormes torres. Por lo general tienen una superficie inferior plana y oscura que puede ocupar hasta 30 000 m. de ancho, una parte al menos de su región superior es lisa, fibrosa o estriada y casi siempre extendida. Esta parte a menudo tiene forma de yunque o de amplio penacho. Estas nubes normalmente están asociadas a los rayos, truenos y a veces incluso granizo. También pueden producir tornados.

### **Constitución física y aspecto**

Están constituidas de goticas de agua y, principalmente en su región superior, de cristales de hielo. Contienen también grandes gotas de lluvia, y, a menudo, copos de nieve, hielo granulado o pedrisco. Frecuentemente ocurre que la dimensión vertical y horizontal del Cúmulonimbos es tan grande que sólo es posible ver su forma característica desde una distancia muy grande.

### **Formación**

Los Cúmulonimbos se forman en general a partir de grandes cúmulos muy desarrollados por un continuo proceso de transformación. A veces pueden desarrollarse a partir de altocúmulos o de estratocúmulos que contienen, en sus partes superiores, protuberancias en forma de pequeñas torres. Asimismo, para su creación se necesita la concurrencia de tres factores: mucha humedad ambiente, una masa inestable de aire caliente, una fuente de energía para subir esa masa caliente y húmeda, rápidamente.

### **Estratos (St)**

#### **Definición**

Los estratos descienden del latín "stratus". Forman una capa a sólo unos pocos metros de distancia del suelo hasta unos 800 metros que cubre el cielo como una manta bastante uniforme. Se desarrollan horizontalmente, de forma opuesta a los Cúmulos que se originan verticalmente. Además, un estrato a nivel del suelo no es ni más ni menos que niebla. En caso de dar lugar a precipitaciones son en forma de llovizna. Salvo a muy bajas temperaturas, no da lugar a fenómenos de halo. Se le considera nube de buen tiempo y aparece frecuentemente por las mañanas en las zonas montañosas. Durante el otoño e invierno los estratos pueden permanecer en el cielo durante todo el día dando un aspecto triste al cielo. Durante la primavera y principios del verano aparecen durante la madrugada dispersándose durante el día, lo que indica buen tiempo.

### **Constitución física y aspecto**

Están constituidas principalmente por pequeñas goticas de agua. Cuando es densa o gruesa puede contener goticas de llovizna, prismas de hielo o cinarra. A menudo forma una capa grisácea de aspecto nebuloso de base poco elevada. Esta capa de estratos puede ser suficientemente delgada para permitir distinguir claramente el contorno del sol o de la luna pero normalmente es opaca. Su base es

suficientemente baja como para ocultar pequeñas colinas o construcciones elevadas. A veces tiene un aspecto oscuro y presenta ondulaciones.

### Formación

Los estratos se originan debido al enfriamiento de las capas más bajas de la atmósfera. Los estratos fractus pueden aparecer como nubes anejas originadas por los fenómenos de turbulencia manifestados en el interior de las capas de aire humedecidas por la precipitación de Altoestratos, Nimboestratos, Cúmulonimbos y cúmulos. También pueden formarse a partir de estratocúmulos cuando bajan su base o cuando pierden su relieve o sus subdivisiones aparentes. Un proceso frecuente de formación de estratos es por la elevación progresiva de una capa de niebla provocada por el calentamiento del suelo o por el aumento de la velocidad del viento.

### 2.3 NUBES QUE INFLUYEN SOBRE EL SISTEMA DE AUTOGUIADO DEL C-10

Después de realizar un estudio de las nubes características de Cuba y por la experiencia adquirida de los especialistas de defensa antiaérea del ITM, se muestra a continuación una parametrización de las nubes. En la tabla 2.1 Nubes que interfieren en el sistema de autoguiado del cohete C-10 y asignación de valores., los campos Óptico, Térmico y Alcance de Radiación muestran los coeficientes respectivos para el análisis del fondo.

Nube	Óptico	Térmico	Alcance de Radiación	Observaciones
Cúmulonimbos	3	2	2000	Con la presencia de esta nube no se puede tirar en régimen óptico.
Cúmulos fractus	2	0	-	Nube que no influye en el régimen térmico
Estrato	0	0	-	El tiro bajo este tipo de nubes es satisfactorio.
Cúmulos congestus	2	3	4000	Esta nube impide el tiro bajo el régimen térmico.
Cúmulos mediocris	1	1	1500	Es necesario realizar el tiro con fondo 2 ó 3 cualquiera sea el régimen de tiro.

Cúmulo	3	0	-	Cuando hay presencia de esta nube no se puede tirar en régimen óptico, sin embargo para el régimen térmico no hay interferencia.
Cúmulos humilis	2	0	-	

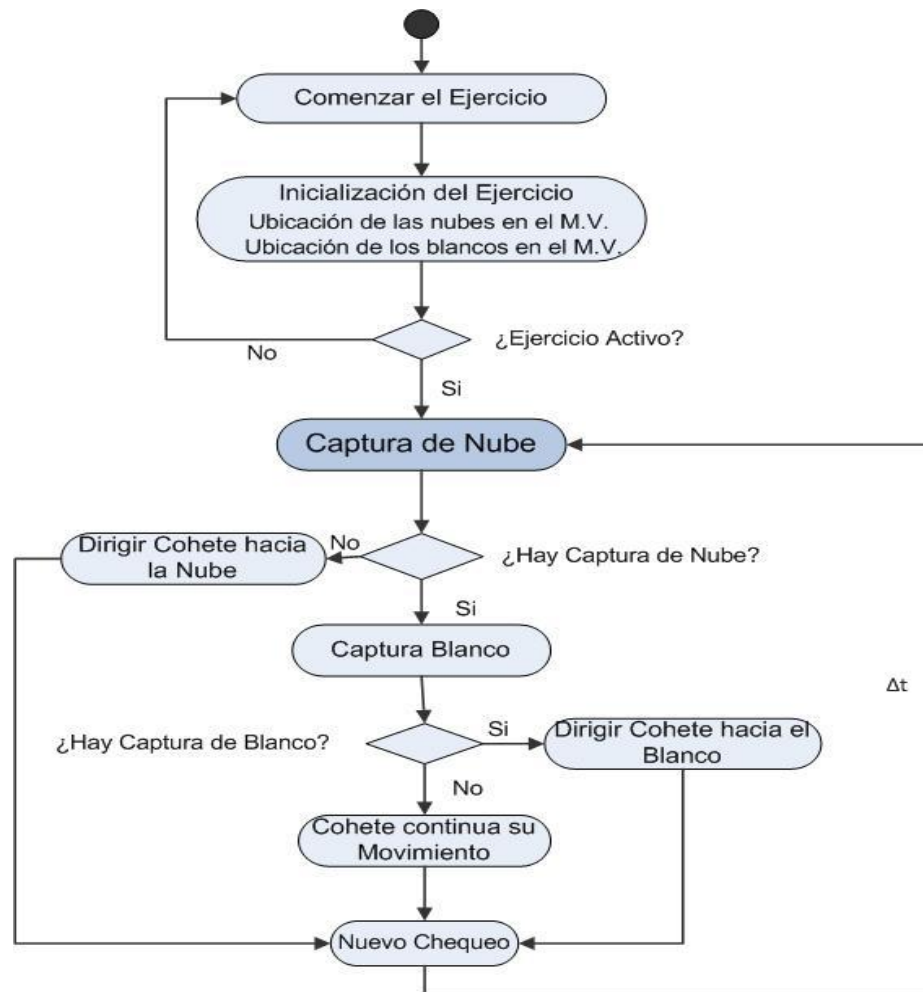
**Tabla 2.1** Nubes que interfieren en el sistema de autoguiado del cohete C-10 y asignación de valores.

En el campo Óptico y Térmico queda asignado a cada nube el índice de fondo óptico o infrarrojo que varía desde 0 a 3. Cada una tendrá un alcance de radiación que depende de su capacidad de absorción y que estará dado por las características particulares de la nube. En las observaciones queda expuesta la influencia de las nubes sobre el C-10 según sus valores asignados.

El anexo 2 ilustra las imágenes de las nubes identificadas por los especialistas antiaéreos que se corresponden a las presentadas en la tabla 2.1.

## 2.5 SECUENCIA LÓGICA DE UN EJERCICIO DE ENTRENAMIENTO EN EL SIMULADOR

En este epígrafe se describe el diagrama con la secuencia lógica de un ejercicio de entrenamiento en el simulador, detallándose cada una de las actividades ejecutadas en el Mundo Virtual (M.V), como muestra la figura 2.4. Prestando especial atención a la actividad Captura de Nube que posibilita determinar si la nube rompe la captura del blanco aéreo



**Fig. 2.4** Diagrama de actividades para la secuencia lógica de un ejercicio de entrenamiento en el **M.V.**

A continuación se define cada actividad referida en la secuencia del ejercicio, especificando los elementos e interacciones que realizan cada uno de ellos.

**Comenzar ejercicio:** Ejecutar software.

**Inicialización:** En esta actividad se ubican las nubes y blancos en el mundo virtual. Las nubes son interferencias suministradas de distintos tipos según su clasificación. Para su representación en el M.V tendrán un identificador (ID), ubicación espacial, alcance de radiación, dimensión en el mundo virtual, velocidad traslación, fondo (óptico, térmico).

Los blancos son aviones: F-16, F-18, F-22 y helicópteros: Chinook, RAH-66, UH-1. Cada uno tiene un grupo de datos tácticos-técnicos los cuales son indispensables proporcionar al programa del simulador. Estos datos permiten realizar el vuelo y determinar las formas en que cada uno ejecutará las maniobras. Algunos de esos datos son: velocidad máxima, velocidad mínima, altura máxima, altura mínima y la aceleración máxima. Estos blancos tienen un plan de vuelo programado y las maniobras eventuales que debe hacer ante algún evento en el C-10 como por ejemplo el lanzamiento de un cohete.

Las nubes y blancos ya ubicados en el mundo virtual se comportan de la siguiente forma: las nubes en esta versión tendrán dinámica propia, o sea, se moverán en dependencia de la velocidad alcanzada por el viento, no cambiarán de tamaño, ni tendrán transparencia. Se tendrán dos listas, una óptica y otra térmica con parámetros óptico y térmico respectivamente. Los blancos comienzan a observarse en el simulador en correspondencia con el plan de vuelo y empezarán sus maniobras eventuales según lo programado. Si el ejercicio no se encuentra activo se retorna hasta que esté activo.

**Captura de Nube:** En correspondencia con el régimen del C-10 se trabaja con la lista óptica o térmica para extraer los datos de la interferencia (nube). Luego se analiza cada elemento de la lista respecto al cono de visión de la cabeza de dirección del C-10, chequeando si constituye interferencia y está en el cono de visión.

**Dirigir Cohete hacia la Nube:** Si hay captura de nube se dirige el C-10 hacia las coordenadas de la interferencia.

**Captura de Blanco:** Se trabaja con los blancos para extraer los datos correspondientes y chequear si el blanco se encuentra en el cono de visión del C-10. Si hay captura del blanco se darán las nuevas coordenadas donde debe dirigirse el cohete.

**Cohete Continúa su Movimiento:** Para el caso que el cohete se encuentre en la rampa, la misma continúa en movimiento buscando la captura de blanco. Si el cohete esta fuera de la rampa, es decir, en el aire y no hubo captura del blanco, entonces sigue una trayectoria de acuerdo a su velocidad.

**Dirigir Cohete hacia Blanco:** Si hay captura del blanco se dirige el C-10 hacia las coordenadas del blanco.

**Nuevo Chequeo:** Cada una variación de tiempo ( $\Delta t$ ) se retorna a Captura de Nube. El  $\Delta t$  en este caso será el tiempo de visualización de la escena simulada.



## 2.6 PROPUESTA DE SOLUCIÓN ALGORÍTMICA PARA CAPTURA DE NUBE

Teniendo en cuenta que la actividad Captura de Nube describe todo el proceso para determinar si hay alguna nube que obstruya la captura del blanco aéreo. La propuesta de solución se centra en modelar un algoritmo que refiera el proceso de determinar si existe una nube que influye sobre el cohete y así dar cumplimiento al objetivo principal. El mismo se da lo mas general posible para que pueda ser implementado en cualquier lenguaje de programación, para su previa implementación en el SimC10 se programará en Visual Studio C++ 6.0 aprovechando las características del lenguaje y las mejoras de la versión.

Para iniciar se analiza el régimen del C-10 y en correspondencia trabajar con la lista óptica o térmica para extraer los datos de la interferencia (nube). Luego hay que inspeccionar cada elemento de la lista respecto al cono de visión del C-10. Con el objetivo de mejorar el rendimiento se realiza un filtrado inicial basado en sí el fondo de la interferencia es menor que el fondo seleccionado en el C-10 y para el caso térmico se chequea además, que la distancia de la nube al cohete sea mayor que el alcance de radiación emitido por la misma, si todo esto ocurre no hay captura de la nube.

Si el fondo de la interferencia es mayor o igual que el fondo del C-10 se procede al análisis espacial de la ubicación de la nube respecto a la cabeza de dirección del C-10, de forma tal que sí el cono de visión intercepta la nube habrá captura de la misma y se darán las nuevas coordenadas espaciales hacia donde debe dirigirse el C-10 en el mundo virtual.

De modo general la actividad Captura de Nube se resume en el algoritmo que sigue:

### Algoritmo

---

#### Algoritmo 2.1: Algoritmo general para la actividad **Captura de Nube**

---

#### INICIO

1. Solicitar los datos correspondientes del Cohete y la Nube
2. Si la lista a recorrer es óptica entonces
  - 2.1 Para cada nube de la lista
    - 2.1.1 Si el fondo de la nube es menor que el fondo del C-10 entonces

- 2.1.1.1 Indicar que no hay captura de la nube
- 2.1.2 sino entonces
  - 2.1.2.1 Si la nube esta en el cono de visión
    - 2.1.2.1.1 Indicar que hay captura de la nube que estoy analizando
    - 2.1.2.1.2 Dirigir cohete hacia esa nube
- 3. Sino la lista a recorrer es térmica entonces
  - 3.1 Para cada nube de la lista
    - 3.1.1 Si el fondo de la nube es menor que el fondo del C-10 entonces
      - 3.1.1.1 Indicar que no hay captura de la nube
      - 3.1.2 Sino entonces
        - 3.1.2.1 Si la distancia de la nube al cohete es mayor que la distancia de radiación emitida entonces
          - 3.1.2.1.1 Indicar que no hay captura de la nube
        - 3.1.3 Sino entonces
          - 3.1.3.1 Si la nube esta en el cono de visión
            - 3.1.3.1.1 Indicar que hay captura de la nube que estoy analizando
            - 3.1.3.1.2 Dirigir cohete hacia esa nube

**FIN**

---

Pseudocodigo para el **Algoritmo 2.1.**

### Inicio

- **Entrar** datos del C-10 y las listas de nubes con los datos correspondientes
- **Hacer** CapturaNube = **falso**;
- **Hacer** posNube =1; // Inicializar la variable de posición posNube en 1 para recorrer la lista
- **Si** (Regimen\_C10  $\square$  Térmico) **entonces** // C-10 está en régimen óptico, utilizar lista nubes óptica
- **Hacer** CantNubes = ListaOpt\_Cant; // Asignar a CantNubes la cantidad de nubes de la lista  
//óptica
- **Mientras** (posNube <= CantNubes) **Hacer**
- **Si** (Fondo\_Nube < Fondo\_COptico) **entonces** // Chequear si el fondo de la nube en esta  
// posición es menor que el fondo del C-10

- **Mostrar** CapturaNube; // Retomar no hubo captura
- **Sino entonces**
- **Hacer** CapturaNube = Captura\_de\_Nube(); // asignar a CapturaNube falso o verdadero  
// según devuelva el método  
// Captura\_de\_Nube()
- **Si** (CapturaNube == verdadero) entonces
- **Mostrar** CapturaNube; // Retomar hubo captura
- **Hacer** Posición\_Cohete = Posición\_Nube; // Dirigir cohete hacia la nube
- **Fin Mientras**
- **Hacer** posNube = posNube+1;
- **Sino entonces**
- **Hacer** CantNubes= ListaTerm\_Cant; // Asignar a CantNubes la cantidad de nubes de la lista  
// térmica
- **Mientras** (posNube <= CantNubes) **Hacer**
- **Si** (Fondo\_Nube < Fondo \_ CTérmico) entonces
- **Mostrar** CapturaNube;
- **Sino entonces**
- **Si** (Dist\_Nube\_Cohete > Dist\_Acc\_Infra) entonces
- **Mostrar** CapturaNube;
- **Sino entonces**
- **Hacer** CapturaNube = Captura\_de\_Nube(); // asignar a CapturaNube falso o verdadero  
// según me devuelva el método  
// Captura\_de\_Nube()
- **Si** (CapturaNube == verdadero) entonces
- **Mostrar** CapturaNube; // Retomar hubo captura
- **Hacer** Posición\_Cohete = Posición\_Nube; // Dirigir cohete hacia la nube
- **Fin Mientras**
- **Hacer** posNube = posNube+1;

Fin

Analizando detenidamente el algoritmo general de la actividad Captura de Nube, se infiere la necesidad de una función ([Captura\\_de\\_Nube\(\)](#)) para detectar la nube en caso que sea una interferencia. La solución debe ser capaz de detectar la presencia de nubes en el cono de visión del C-10 y devolver verdadero o falso en caso que no exista nube en su área de visión.

## **CONCLUSIONES**

El presente capítulo describe el modo de funcionamiento autoguiado del cohete para analizar como se realiza la compensación bajo el efecto de las nubes. Con la modelación de un algoritmo general para la actividad Captura de Nube se propone encontrar un método que facilite detectar la nube en el área de análisis del misil.

## CAPÍTULO 3

### PROPUESTA DE SOLUCIÓN

---

El presente capítulo aporta los métodos como vía de solución a la actividad Captura de Nube donde se describe el proceso para simular el error que existe en el complejo coheteril antiaéreo. Para obtener el algoritmo de solución, se valoran los métodos de detección propuestos.

#### 3.1 MÉTODOS Y ALGORÍTMOS PARA DETECTAR LA NUBE

La captura del blanco aéreo por el C-10 es un problema cuando el cohete se mueve en un medio complejo, pues el mismo presenta en la realidad un error de captura. Es decir, cuando la cantidad de nubes presentes en el fondo ambiente representan un número considerable, el cohete puede perder la captura del blanco haciendo captura de la nube trayendo como consecuencia el fallo del tiro y la pérdida del cohete.

Para simular la captura durante el vuelo del C-10 es necesario tener una representación de la escena de combate lo más real posible, donde interactúen los distintos elementos del mundo virtual que la conforman. En la trayectoria del cohete se verificará cada un  $\Delta t$  si en el cono de visión del cohete hay alguna interferencia nube que obstaculice la captura del blanco aéreo.

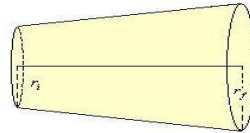
De lo anterior, la motivación por encontrar alguna opción que ofrezca ventajas en la detección de nubes por el cohete. El reto es encontrar la forma de resolver el problema de captura por el C-10 en un cielo con nubes en el menor tiempo posible. Es decir, se busca un algoritmo eficiente en cálculo que determine si hay interferencia. En caso de existir se rompe la captura del blanco y se procede a dirigir el cohete hacia la misma. Ofreciendo tiempos de computación razonables.

En la investigación se estudiaron vías de solución para la detección de interferencias por el cono de visión. A continuación se presentan las ecuaciones necesarias para hacer el cálculo de detección a través de los métodos del cono truncado y el método por geometría descriptiva.

### 3.1.1 Método del cono truncado

Este método consiste en representar a través de un conjunto de esferas un cono cuyo centro se localiza en la recta que une a la primera con la última y cuyo radio varía a lo largo de esta línea.

Teniendo en cuenta que a una distancia menor que 800 m el cohete no tiene visibilidad, es decir, existe un área de ceguera; es necesario seccionar el cono de forma que resulte truncado, tal como se muestra en la figura 3.2.



**Fig. 3.1.** Cono truncado de visión del cohete C-10 en 3D.

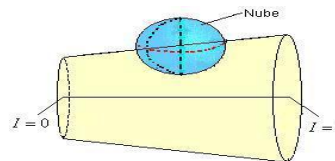
Como se enunció anteriormente, se busca obtener los datos de la detección de nubes a través del cono truncado, para determinar si hay captura de la nube. Las nubes en este método se tratarán como una esfera.

El cono truncado estará formado por un número infinito de esferas a lo largo del eje. En todo el eje, los radios de los círculos que lo conforman van variando proporcionalmente partiendo de un radio  $r_i$  y cambiando hasta un radio  $r_f$  como se muestra en la figura 3.1.

Teniendo los datos de localización de los centros correspondientes al círculo inicial y final del cono truncado de visión así como sus radios correspondientes  $(X_i, Y_i, Z_i, r_i, X_f, Y_f, Z_f, r_f)$  y las coordenadas centrales de la nube circular y su radio respectivo  $(X_n, Y_n, Z_n, r_n)$ ; se puede determinar si el cono de visión detecta la nube por medio de una ecuación cuadrática igualada a cero, donde el valor del centro de los círculos en la recta central estará definido por  $I$  donde  $0 \leq I \leq 1$ .

De esta forma para el círculo inicial se tiene que  $I=0$  y para el círculo final  $I=1$ . Así, se determina una ecuación que halle los valores  $I$  donde se cumpla que la resta de la distancia entre los centros de dos círculos (el del cono y el de la nube) menos la suma de sus radios sea negativa.

Resolviendo la ecuación cuadrática se obtendrán uno o dos resultados, que se interpretan como el punto inicial y final de la nube que detecta el cono truncado de visión, mostrado en la figura 3.2. En caso que la solución resulte imaginaria significará que no se detecta la nube.



**Fig.3.2** Valores de  $I$  en el cono truncado y puntos de detección de la nube.

Teniendo en cuenta la línea central del cono truncado de visión, se obtienen los puntos centrales de las circunferencias inicial y final. Para conocer las coordenadas centrales de alguno de los círculos que conforman el cono truncado, se busca conocer un  $P_I = (X_I, Y_I, Z_I)$  ubicado en esta recta. Se plantea el problema de encontrar dicho punto en la recta como la combinación de 3 vectores, uno que represente el valor en  $X$ , otro en  $Y$  y otro en  $Z$ .

Todo punto  $P_I = (X_I, Y_I, Z_I)$  del segmento de recta definido por  $P_1$  y  $P_2$  está dado por las siguientes expresiones:

$$X_I = X_1(1-I) + X_2(I) \quad (3.1)$$

$$Y_I = Y_1(1-I) + Y_2(I) \quad (3.2)$$

$$Z_I = Z_1(1-I) + Z_2(I) \quad (3.3)$$

donde  $I$  está en el intervalo  $[0,1]$

Por ejemplo, cuando  $I=0$ ,  $P_I = (X_1, Y_1, Z_1)$  y cuando  $I=1$  entonces  $P_I = (X_2, Y_2, Z_2)$

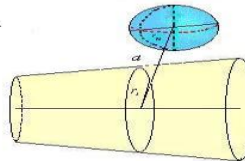
Si  $I = 0,5$  el punto se encuentra en el punto medio de la recta.

Como el cono truncado de visión está formado por una serie de esferas continuas a lo largo del eje, el radio exacto del círculo que conforma el cono truncado se calcula para  $(X_I, Y_I, Z_I)$  con la siguiente fórmula:

$$r_I = r_1(1-I) + r_2(I) \quad (3.4)$$

donde  $r_1$  y  $r_2$  son los radios de los círculos iniciales y finales del cono truncado y  $r_I$  es el correspondiente a un círculo del cono truncado en la posición  $I$ .

Para el contexto de detección de la nube por el cono truncado se puede tener la situación de la figura 3.3. Donde se tiene el cono truncado, una nube en forma de esfera y se determina si existe detección.



**Fig.3.3** Ejemplo de detección de la nube en el cono de visión

donde

$r_n$  : es el radio de la nube

$r_I$  : es el radio de un círculo del cono truncado en la posición  $I$

Sea  $CO$  un cono truncado y  $N$  una nube circular. Entonces existe detección de  $N$  por  $CO$  si existe un círculo  $C_I$  que pertenezca a  $CO$  tal que:

$$d - (r_n + r_I) < 0$$

donde

$$d = \sqrt{(X_I - X_n)^2 + (Y_I - Y_n)^2 + (Z_I - Z_n)^2}$$

dada la ecuación de la distancia entre dos puntos en el espacio 3D hay detección cuando:

$$\sqrt{(X_I - X_n)^2 + (Y_I - Y_n)^2 + (Z_I - Z_n)^2} < (r_n + r_I) \quad (3.5)$$

donde  $X_n$ ,  $Y_n$  y  $Z_n$  son las coordenadas del centro de la nube.

Sustituyendo  $X_I$ ,  $Y_I$ ,  $Z_I$  y  $r_I$  de las ecuaciones 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se produce la siguiente desigualdad:



$$\sqrt{((X_1(1-I) - X_2(I) - X_n)^2 + ((Y_1(1-I) - Y_2(I) - Y_n)^2 + ((Z_1(1-I) - Z_2(I) - Z_n)^2)} < (r_n + (r_1(1-I) + r_2(I))) \quad (3.6)$$

Si se cumple la expresión 3.6 para  $0 \leq I \leq 1$ , se concluye que en el escenario existe detección de la nube. La tarea siguiente es reconocer donde existe detección.

Partiendo de la expresión 3.6 y simplificando en términos de  $I$  se tiene la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} & (X_1^2 - 2X_1X_2 + X_2^2 + Y_1^2 - 2Y_1Y_2 + Y_2^2 + Z_1^2 - 2Z_1Z_2 + Z_2^2)I^2 + \\ & (-2X_1^2 + 2X_1X_2 + 2X_nX_1 - 2X_nX_2 - 2Y_1^2 + 2Y_1Y_2 + 2Y_nY_1 - 2Y_nY_2 - 2Z_1^2 + 2Z_1Z_2 + 2Z_nZ_1 - 2Z_nZ_2)I + \\ & (X_1^2 - 2X_nX_1 + X_n^2 + Y_1^2 - 2Y_nY_1 + Y_n^2 + Z_1^2 - 2Z_nZ_1 + Z_n^2) < (r_1^2 - 2r_1r_2 + r_2^2)I^2 + (-2r_1^2 + 2r_1r_2 - 2r_nr_1 + 2r_nr_2)I + \\ & (r_1^2 + 2r_nr_1 + r_n^2) \end{aligned}$$

Si la anterior ecuación se iguala a cero entonces se obtiene el punto inicial y final de contacto y se resume en una ecuación cuadrática con una incógnita del tipo:

$$aI^2 + bI + c = 0 \quad (3.7)$$

donde

$$\begin{aligned} a &= (X_1^2 - 2X_1X_2 + X_2^2 + Y_1^2 - 2Y_1Y_2 + Y_2^2 + Z_1^2 - 2Z_1Z_2 + Z_2^2) - (r_1^2 - 2r_1r_2 + r_2^2) \\ b &= (-2X_1^2 + 2X_1X_2 + 2X_nX_1 - 2X_nX_2 - 2Y_1^2 + 2Y_1Y_2 + 2Y_nY_1 - 2Y_nY_2 - 2Z_1^2 + 2Z_1Z_2 + 2Z_nZ_1 - 2Z_nZ_2) - \\ & (-2r_1^2 + 2r_1r_2 - 2r_nr_1 + 2r_nr_2) \quad (3.8) \\ c &= (X_1^2 - 2X_nX_1 + X_n^2 + Y_1^2 - 2Y_nY_1 + Y_n^2 + Z_1^2 - 2Z_nZ_1 + Z_n^2) - (r_1^2 + 2r_nr_1 + r_n^2) \end{aligned}$$

Estas expresiones arrojan las constantes de la ecuación. De esta forma usando la fórmula general ampliamente conocida para la solución de una ecuación cuadrática, si existe detección de la nube; la solución aportará dos resultados, los cuales son interpretados como los puntos iniciales y finales de contacto:

$$I_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$I_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

## Discriminante

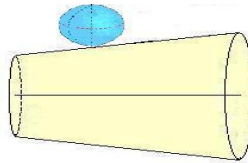
Interesante resulta que con esta sencilla fórmula se obtienen datos significativos acerca de la detección. El discriminante de la ecuación cuadrática es la parte primordial puesto que los diferentes valores que se obtienen implican conclusiones respecto a la detección de la nube. Esto se observa en los siguientes casos:

$$D = b^2 - 4ac$$

donde

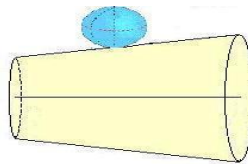
$D$ : es el discriminante de la ecuación cuadrática de (3.7)

1. Si el discriminante es negativo, significa que la nube no se encuentra en el área de visión, como se representa en la figura 3.4



**Fig.3.4** Caso para el discriminante negativo

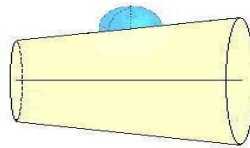
2. Si el discriminante es igual a cero, los dos resultados serán iguales, es decir la solución de la ecuación arrojará un resultado real. Esto es cuando sólo existe un punto de contacto de la nube con el cono de visión y se considera que no habrá detección. La figura 3.5 muestra este caso.



**Fig.3.5** Caso para el discriminante negativo

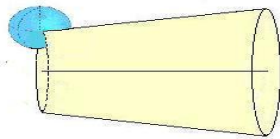
3. Cuando el discriminante es positivo,  $I_1$  e  $I_2$  alcanzan valores reales. Si  $I_1$  e  $I_2$  están en el intervalo de  $[0,1]$  significa que hay detección de la nube y estos valores de  $I$  indican el centro de las circunferencias inicial y final en el eje donde hay detección de la nube por el cono. En la

figura 3.6 se ejemplifica lo anterior.

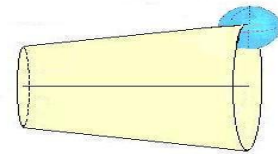


**Fig.3.6** Caso para el discriminante positivo e  $I_1$  en el intervalo  $[0,1]$

1. En caso que el discriminante sea positivo pero alguno de los valores de  $I$  cumpla con la siguiente condición  $I < 0$  o  $I > 1$ , surge la situación donde hay parte de la nube fuera y otra dentro del cono truncado. Se observa para un valor de  $I < 0$  en la figura 3.7 aquí se considera que no habrá detección de la nube y para el caso  $I > 1$  en la figura 3.8 donde si habrá.

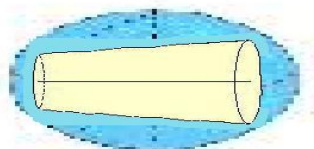


**Fig.3.7** Valor de  $I < 0$ .



**Fig.3.8** Valor de  $I > 1$

2. Un caso especial, es cuando la nube cubra todo el cono. Si se realiza el cálculo para encontrar valores de  $I_1$  e  $I_2$  en la ecuación cuadrática, estos aportan resultados que estarán fuera del rango de  $[0,1]$ . Esta representación está en la figura 3.9.



**Fig. 3.9** Valor de  $0 > I > 1$ .

Analizando lo anterior se concluye que si los dos valores calculados de  $I$  no se encuentran en el rango de  $[0,1]$ , entonces la nube envuelve al cono truncado y no se tendrá detección de la nube.

El algoritmo que sigue, describe el método del cono truncado.

**Algoritmo 3.1:** Algoritmo para el método del cono truncado

**INICIO**

1. Solicitar los datos del cono truncado y de la nube.
2. Almacenar los datos
3. Hallar valores de los coeficientes de la ecuación cuadrática, discriminante y los valores de  $I$ .
4. Si el discriminante es positivo, e  $I$  está en el intervalo  $[0, 1]$  o existe una  $I$  dentro del intervalo y otra mayor que 1, entonces
  - 4.1 Indicar que hay detección de la nube
  - 4.2 Sino indicar no hay detección de la nube

**FIN**

Pseudocódigo para el **Algoritmo 3.1**

**Inicio**

- **Entrar**  $(X_1, Y_1, Z_1, r_1, X_2, Y_2, Z_2, r_2), (X_n, Y_n, Z_n, r_n)$ ;
- **Hacer** Detecta\_Nube = **falso**;
- **Hacer**  $a = (X_1^2 - 2X_1X_2 + X_2^2 + Y_1^2 - 2Y_1Y_2 + Y_2^2 + Z_1^2 - 2Z_1Z_2 + Z_2^2) - (r_1^2 - 2r_1r_2 + r_2^2)$ ,  
 $b = (-2X_1^2 + 2X_1X_2 + 2X_nX_1 - 2X_nX_2 - 2Y_1^2 + 2Y_1Y_2 + 2Y_nY_1 - 2Y_nY_2 - 2Z_1^2 + 2Z_1Z_2 + 2Z_nZ_1 - 2Z_nZ_2) - (-2r_1^2 + 2r_1r_2^2 - 2r_nr_1 + 2r_nr_2)$ ,  
 $c = (X_1^2 - 2X_nX_1 + X_n^2 + Y_1^2 - 2Y_nY_1 + Y_n^2 + Z_1^2 - 2Z_nZ_1 + Z_n^2) - (r_1^2 + 2r_nr_1 + r_n^2)$ ;
- **Hacer**  $D = b^2 - 4ac$ ,  $I_1 = (-b + \sqrt{D})/2a$ ,  $I_2 = (-b - \sqrt{D})/2a$ ;

- **Si** (  $D > 0$  && (( $0 \leq I_1 \leq 1$  &&  $0 \leq I_2 \leq 1$ ) || ( $0 \leq I_1 \leq 1$  &&  $I_2 > 1$ ) || ( $0 \leq I_2 \leq 1$  &&  $I_1 > 1$ )))  
entonces
- **Hacer** Detecta\_Nube = verdadero; // Hay detección de la nube
- **Mostrar** Detecta\_Nube;
- **Sino**
- **Mostrar** Detecta\_Nube;

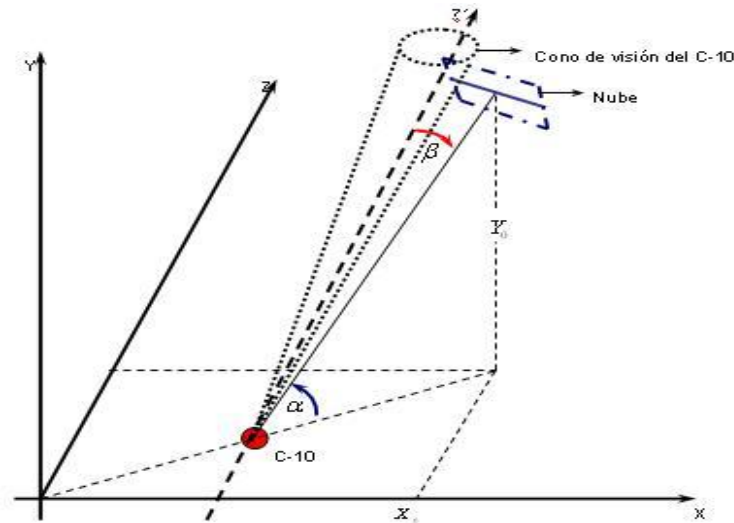
**Fin**

### 3.1.2 Método por geometría descriptiva

Otra forma para verificar si la nube se encuentra en la zona de visión del cohete es a través de la geometría descriptiva. Pues ella utiliza técnicas de carácter geométrico que permite representar el espacio tridimensional sobre una superficie bidimensional, y resolver en dos dimensiones los problemas espaciales.

Las nubes en este contexto se tratan como una imagen que tiene ancho  $a_n$ , largo  $l_n$ . Como premisa estarán ubicadas formando un ángulo de  $90^\circ$  respecto a la dirección del C-10. Recordar que el área de visión del cohete es un cono.

Se tiene la ubicación espacial del cohete en coordenadas cartesianas ( $X_c, Y_c, Z_c$ ), polares ( $\alpha_c, \beta_c, d_c$ ) y las coordenadas cartesianas de la nube ( $X_n, Y_n, Z_n$ ). Donde  $\alpha$  será el ángulo de elevación del cohete o la nube sobre la horizontal y el ángulo  $\beta$  se mide desde la dirección norte (eje z), se le conoce como azimut. Teniendo en cuenta que la cabeza del cohete tiene un  $\alpha_{cb}$  y  $\beta_{cb}$ , solo hay que analizar la orientación de dicha cabeza hacia la nube, para determinar por medio de la geometría descriptiva si está dentro del cono. Lo anterior quedaría representado en la figura 3.10.



**Fig.3.10** Representación espacial del cohete y la nube.

En el espacio tridimensional, la designación cartesiana (  $X$  ,  $Y$  ,  $Z$  ) es exactamente simétrica, pero algunas veces es conveniente seguir el sistema de coordenadas polares y designar la distancia y la dirección por separado.

La distancia entre dos puntos en el espacio 3D puede deducirse del teorema de Pitágoras, para el caso de la nube y el cohete quedaría como:

$$\Delta X_{c-n} = X_n - X_c \quad (3.9)$$

$$\Delta Y_{c-n} = Y_n - Y_c \quad (3.10)$$

$$\Delta Z_{c-n} = Z_n - Z_c \quad (3.11)$$

luego

$$D_{c-n} = \sqrt{(\Delta X_{c-n})^2 + (\Delta Y_{c-n})^2 + (\Delta Z_{c-n})^2}$$

donde  $D_{c-n}$  es la distancia relativa entre el cohete y la nube.

Definiendo  $\alpha_n$  y  $\beta_n$ , como los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  de la nube y conociendo que para todo triángulo rectángulo:

$$\tan x = \frac{\text{cateto.opuesto}}{\text{cateto.adyacente}} \quad (3.12)$$

Proyectando en el plano XZ la figura 3.10, se forma un triángulo rectángulo y sustituyendo los valores de las ecuaciones (3.9) y (3.11) en (3.12) se tiene:

$$\tan \beta_n = \frac{\Delta X_{c-n}}{\Delta Z_{c-n}}$$

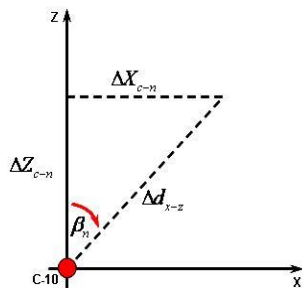
Buscando la función inversa

$$\beta_n = \arctan\left(\frac{\Delta X_{c-n}}{\Delta Z_{c-n}}\right)$$

Por Pitágoras

$$d_{x-z} = \sqrt{(\Delta X_{c-n})^2 + (\Delta Z_{c-n})^2} \quad (3.13)$$

La figura 3.11 se muestra la proyección en XZ.



**Fig.3.11** Proyección de la Fig.3.10 en XZ.

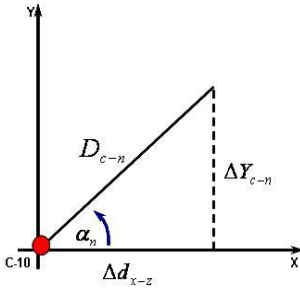
Ahora si se proyecta en el plano XY la figura 3.10 se puede calcular el ángulo  $\alpha_n$ . Sustituyendo los valores de las ecuaciones (3.10) y (3.13) en (3.12):

$$\tan(\alpha_n) = \frac{\Delta Y_{c-n}}{d_{x-z}}$$

Hallando la inversa de la función se tiene

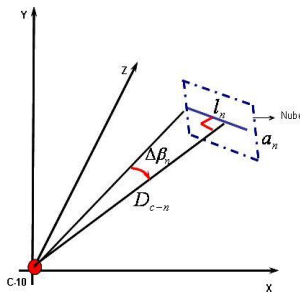
$$\alpha_n = \arctan\left(\frac{\Delta Y_{c-n}}{d_{x-z}}\right)$$

En la figura 3.12 aparece la representación de lo expuesto anteriormente

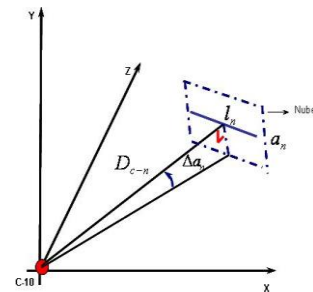


**Fig.3.12** Proyección de la Fig.3.10 en XY.

Si se tiene la elevación y azimut del centro de la nube solo resta buscar un  $\Delta\alpha_n$  y  $\Delta\beta_n$  para de esta manera poder obtener los ángulos  $\alpha_n$ ,  $\beta_n$  en los extremos de la nube. Recordar que las nubes están ubicadas perpendicular al C-10. Lo anterior queda representado en las figuras 3.13 y 3.14



**Fig.3.13** Vista en el espacio de  $\Delta\beta_n$  .



**Fig.3.14** Vista en el espacio de  $\Delta\alpha_n$

donde

$$\Delta\beta_n = \arctan\left(\frac{l_n/2}{D_{c-n}}\right)$$

$$\Delta\alpha_n = \arctan\left(\frac{a_n/2}{D_{c-n}}\right)$$



Si con estos valores se cumplen las condiciones  $(\beta_n + \Delta\beta_n) \geq (\beta_c + \beta_{cb}) \geq (\beta_n - \Delta\beta_n)$  y  $(\alpha_n + \Delta\alpha_n) \geq (\alpha_c + \alpha_{cb}) \geq (\alpha_n - \Delta\alpha_n)$ , entonces se arriba a la conclusión que la nube está en el cono de visión del cohete.

El Algoritmo 3 muestra el resumen de este proceso, utilizando geometría descriptiva.

---

**Algoritmo 3:** Algoritmo para el método por geometría descriptiva

---

**INICIO**

1. Solicitar los datos de la nube y cono respectivamente
2. Almacenar los datos
3. Hallar incógnitas para determinar valores de los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$  correspondientes
4. Si los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$  del cohete están dentro de los  $\alpha$ ,  $\beta$  de la nube entonces
  - 4.1 Indicar que hay detección de la nube
  - 4.2 Sino indicar no hay detección de la nube

**FIN**

---

Pseudocódigo para el **Algoritmo 3**.

**Inicio**

- **Entrar**  $(a_n, l_n, X_n, Y_n, Z_n), (X_c, Y_c, Z_c, \alpha_c, \beta_c, d_c, \alpha_{cb}, \beta_{cb},)$ ;
- **Hacer** Detecta\_Nube = **falso**;
- **Hacer**  $\Delta X_{c-n} = X_n - X_c$ ,  $\Delta Y_{c-n} = Y_n - Y_c$ ,  $\Delta Z_{c-n} = Z_n - Z_c$ ; // Calcular incógnitas
- **Hacer**  $D_{c-n} = \sqrt{\Delta X_{c-n}^2 + \Delta Y_{c-n}^2 + \Delta Z_{c-n}^2}$ ; // Calcular incógnitas

- **Hacer**  $\beta_n = \arctan(\Delta X_{c-n}/\Delta Z_{c-n})$ ,  $\alpha_n = \arctan(\Delta Y_{c-n}/\sqrt{\Delta X_{c-n}^2 + \Delta Z_{c-n}^2})$ ,  
 $\Delta\beta_n = \arctan((l_n/2)/D_{c-n})$ ,  
 $\Delta\alpha_n = \arctan((a_n/2)/D_{c-n})$ ; // Calcular  $\alpha_n$ ,  $\beta_n$ ,  $\Delta\alpha_n$ ,  $\Delta\beta_n$ . A la hora de programar  
//analizar los signos de los ángulos
- **Si**  $((\beta_n + \Delta\beta_n) \geq (\beta_c + \beta_{cb}) \geq (\beta_n - \Delta\beta_n) \ \&\& \ (\alpha_n + \Delta\alpha_n) \geq (\alpha_c + \alpha_{cb}) \geq (\alpha_n - \Delta\alpha_n))$  entonces
- **Hacer** Detecta\_Nube = verdadero; // Hay detección de la nube
- **Mostrar** Detecta\_Nube;
- **Sino**
- **Mostrar** Detecta\_Nube;
- **Fin**

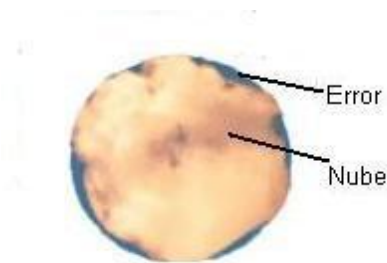
### 3.2 VALORACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DETECCIÓN PROPUESTOS

Los métodos propuestos constituyen una vía de solución al problema de detección de la nube por el cohete. Para el empleo del cono truncado se asumió la representación de las nubes como objetos esféricos. El uso de la esfera está dado porque son más atractivas computacionalmente, su representación en una estructura de datos sólo requiere del centro y el radio, además brindan ventajas al ser invariables cuando hay rotación, y siempre se proyectan en un disco. Con la esfera, las nubes tendrán más realismo llegando a alcanzar una forma volumétrica aunque consumiendo más de recursos en su visualización.

En el método por geometría descriptiva las nubes se tratan como imágenes planas para asegurar el consumo mínimo de recursos de computación dentro del ciclo de visualización (render y textura). La representación de la misma en el mundo virtual, es a través de un ortoedro que tiene un ancho, alto y una profundidad muy pequeña que será despreciable.

Estas dos formas de representación tienen sus ventajas pero sin dudas las esferas aseguran un resultado exitoso en un tiempo razonable y permite a su vez alcanzar un nivel elevado de entrenamiento del personal.

Es evidente que las representaciones por un método u otro trae un margen de error que puede llegar a ser considerable en dependencia de la forma real de la nube y la forma esférica u ortoédrica en que se ajusta la misma. En las figuras 3.15 y 3.16 se ejemplifica el margen de error en cada método según corresponde.



**Fig. 3.15** Visualización del margen de error en la esfera



**Fig. 3.16** Visualización del margen de error en el ortoedro.

Teniendo en cuenta que los métodos son eficaces ya que alcanzan el objetivo primordial. El empleo de cualquiera de ellos contribuye a una solución inmediata del problema, pues en la actualidad no se cuenta con su simulación en el Simulador de Tiro del C-10.

Claro que para cada algoritmo la cantidad de recursos utilizados depende fuertemente de los datos de entrada. En general, la cantidad de recursos crece a medida que crece el tamaño de la entrada. El análisis de esta cantidad de recursos no es viable de ser realizado instancia por instancia. Por ello, hay que

basarse en el número de veces que se ejecuta una operación primitiva (de tiempo fijo), para saber la eficiencia de los algoritmos. Haciendo un análisis de las operaciones necesarias de suma, resta, multiplicación, división, raíz cuadrada y dado que el método por geometría descriptiva cuenta con operaciones trigonométricas que llegan a consumir más recursos; se reconoce una menor eficiencia del método por geometría descriptiva respecto al método del cono truncado. Además el método por geometría descriptiva no aporta ningún dato cuando la nube se encuentra dentro del área de ceguedad del cohete, fuera del alcance del mismo o cubriendo toda el área de visión. Sin embargo el cono truncado analiza estos casos con simples cálculos.

Respecto a lo anterior se elige el método del cono truncado como vía más eficiente para ser utilizado en el algoritmo general facilitando una solución inmediata al problema de la investigación.

### **3.3 OTRA VARIANTE PARA LA REPRESENTACIÓN DE LAS NUBES**

Existen otras técnicas para representar objetos irregulares de forma más real como puede ser la técnica octrees. Esta es una técnica que sirve para la representación de objetos, estos utilizan un sistema de escritura binaria del espacio. El objeto a representar es dividido recursivamente en celdas jerárquicas formando un árbol donde cada nodo representa una sección del objeto.

Para representar un objeto por medio de este método se procede a encerrar el objeto en un cubo subdividido en ocho, que a su vez podrán subdividirse recursivamente, dividiendo cada cuadro en cuatro partes recursivamente dependiendo de la geometría del objeto. El cubo inicial es la raíz del árbol y las divisiones dentro de cada uno son los nodos hijos. Los nodos pueden ser de tres tipos: blanco cuando está completamente libre, negro cuando está completamente ocupado y gris cuando está parcialmente ocupado. La representación típica con árboles tiene una alta ocupación de memoria, pero ofrece una reducción considerable en los requerimientos de almacenamiento debido a que sólo tienen hijos los nodos grises y además se guarda la información de la distancia mínima y máxima hacia los nodos obstáculo, esto hace que los recorridos sean más óptimos.

La idea principal con este método sería tomar las distancias mínimas y máximas hacia las nubes, compararlas con la ubicación y cono del cohete para decidir si existe captura. Este algoritmo requiere una etapa de proceso, la cual consiste en la construcción del árbol y el cálculo de distancias cuando

el cohete se mueve en el espacio, lo que implica una desventaja en el tiempo de computación. Por lo que se propone la valoración de este método u otros en posteriores investigaciones

### **CONCLUSIONES**

En el capítulo se modelaron métodos para detectar las nubes que aportan una solución eficaz junto al algoritmo general. Haciendo una valoración de los métodos propuesto se elige el más eficiente. Se propone para posteriores proyectos profundizar en la técnica de octrees como variante para la representación y detección de nubes en el espacio.

## CONCLUSIONES

- Una vez concluida la investigación previa de la influencia de las nubes sobre el sistema de autoguiado del C-10, se logró modelar un algoritmo de captura donde se aplican los resultados de la investigación realizada dando cumplimiento a los objetivos de este trabajo.
- El estudio de las características de las nubes cubanas y el proceso de funcionamiento del C-10, son precisos para el desarrollo de un algoritmo efectivo.
- Para lograr que los métodos de detección cumplan el objetivo, es necesario que en ellos estén presentes las características funcionales del cohete al efectuar una captura efectiva.
- La puesta en práctica de uno de los métodos descrito permitirá al simulador tener mayor realismo en el ambiente simulado y así mejorar la calidad del entrenamiento en los soldados de las UUMM.
- El uso de una metodología para el desarrollo del algoritmo, es vital para lograr el objetivo final y en él rasgos como la calidad.
- El algoritmo fue desarrollado de manera general y puede incorporar todos los métodos de detección que permitan determinar la presencia de una nube en la zona de visión del cohete.

Concluido este trabajo de diploma y desarrollado los temas que en él expone, se logró de modo general una mejora considerable en las funcionalidades del Simulador de Tiro.

## RECOMENDACIONES

Como resumen merecido de lo abordado, y luego de la exposición de todo lo trabajado, se listan a continuación una serie de recomendaciones tanto en el ámbito teórico como práctico para la ampliación, modificación, mejora y construcción de nuevos algoritmos que posibiliten simular el error de captura del C-10 en el SimC10 lo más exacto posible:

1. Profundizar en los conocimientos teóricos para el estudio del complejo coheteril C-10 haciendo énfasis en el sistema de autoguiado óptico e infrarrojo.
2. Profundizar en las características principales de las nubes en el espacio aéreo cubano en cuanto a: morfología, formación, disipación, color, temperatura, desplazamiento. Determinando como influyen sobre el C-10 cada una de ellas.
3. Realizar un estudio detallado en el campo con el complejo coheteril, determinando con exactitud cada nube que interfiere en la captura del blanco, para elegir las nubes a emplear en el SimC-10.
4. Asignarle a las nubes del método propuesto puntos de control para reducir o eliminar los márgenes de error a través de su chequeo
5. Analizar y valorar el método de octrees para representar y detectar las nubes, logrando más realismo y obteniendo mejores resultados en la captura de la misma, aunque trae consigo tiempos de computación mayores.
6. Continuar la investigación y el desarrollo de diferentes métodos y algoritmos de detección de la nube por el cono de visión del C-10, para optimizar cada vez más el uso de la memoria y proceso de renderizado.
7. Recomendar la implementación inmediata del modelo propuesto para aumentar el nivel de preparación de las tropas antiaéreas con el armamento coheteril.
8. Valorar por la empresa SIMPRO la utilización del método propuesto para detectar la nube en futuros simuladores antiaéreos.

## BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHURMAN, W. *El Enfoque de Sistemas.*, 1983. p.
2. FAR. Principio de trabajo del guiado automático del C-10. Infrarrojo y Óptico. en: *Manual del mecánico de las fuerzas aéreas. Armamento coheteril 00 0446.* FAR., I. U.p.
3. GORDON, G. *Simulación de Sistemas.* México, 1995. p.
4. GUGLIELMONE, J. A. *CITEFA UNA OPORTUNIDAD EN EL COMBATE.*
5. NOPTEL. Disponible en: <http://www.worldsecurity-index.com/details.php?id=160&lang=ES> 10/01/2007
6. PARRA, R. A. M. *Ventajas / Desventajas de la Simulación,* 2007]. Disponible en: <http://docencia.50webs.com/simula03.htm> 05/01/2007
7. SHANNON, R. *Simulación de Sistemas.* 1988. p.
8. THOMAS TAYLOR, D. B. *Técnicas de simulación de computadoras.* Mexico, 1995. p.
9. WIKIPEDIA. *Simulador.* Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Simulador> 05/01/2007

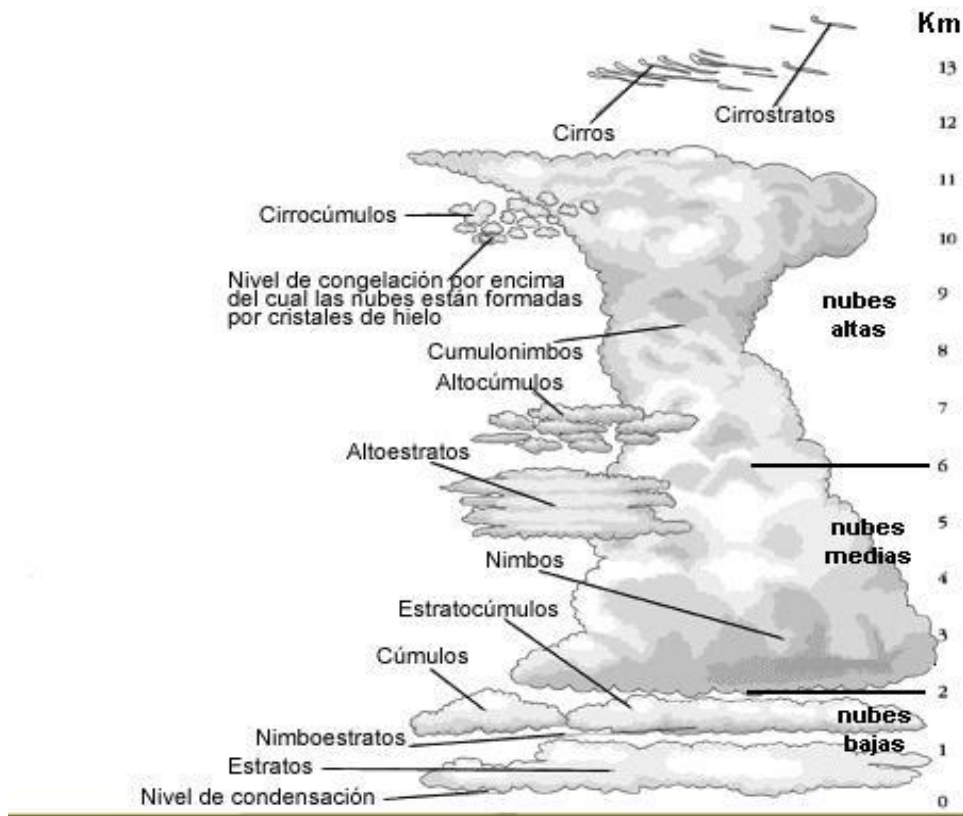


## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. ASTROMÍA. *Las nubes*. Disponible en: <http://www.astromia.com/tierraluna/nubes.htm> 20\12\2006
2. BAASE, S. V. G., A. *Computer Algorithms. Introduction to Design and Analysis*. 2000. p.
3. DÜRSTELER, J. C. *Simuladores y Visualización Dinámica* Disponible en: <http://www.infovis.net/printMag.php?num=152&lang=1> 10/01/2007
4. Nº407, O. *Atlas internacional de nubes*. 1993. p.
5. NUÑEZ., Y. Z. T. *Apuntes de los lenguajes algorítmicos, historia y sus aplicaciones*, 2004.
6. WIKIPEDIA. *Cumulus*. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cumulus> 05/04/2007
7. ---. *Cumulus congestus*. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cumulus\\_congestus](http://es.wikipedia.org/wiki/Cumulus_congestus) 05/04/2007
8. ---. *Cumulus humilis*. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cumulus\\_humilis](http://es.wikipedia.org/wiki/Cumulus_humilis) 05/04/2007
9. ---. *Cumulus mediocris*. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cumulus\\_mediocris](http://es.wikipedia.org/wiki/Cumulus_mediocris) 05/04/2007
10. ---. *Simulador*. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Simulador> 05/01/2007
11. WILSON, S. *Analytic Foundations of Geometry*, 2000.

## ANEXOS

### ANEXO 1. CLASIFICACIÓN DE LAS NUBES SEGÚN SU ALTURA



**ANEXO 2: FOTOS DE NUBES**

Fotos de las nubes que se presentan en la tabla 2.1, identificadas por los especialistas del ITM.



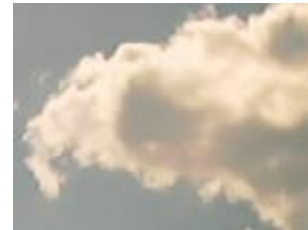
**Foto.1.** Cúmulonimbos



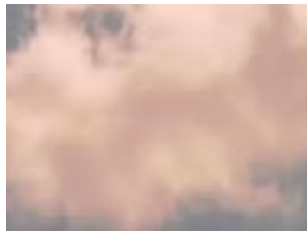
**Foto.2.** Cúmulos fractus



**Foto.3.** Estrato



**Foto.4.** Cúmulos congestus



**Foto.5.** Cúmulos mediocris



**Foto.6.** Cúmulo



**Foto.7.** Cúmulos humilis

## GLOSARIO

**Castellanus:** Del latín " castellanus " que significa castillo, almena, o muralla de una fortaleza.

**Cohete antiaéreo:** Cohete tierra aire que es utilizado para batir al enemigo aéreo.

**Congestus:** Apilar, amontonar, acumular.

**Convección:** Transporte en un fluido de calor por desplazamiento de sus moléculas debido a diferencias de densidad.

**Fotocontraste:** Opacidad emitida en el fondo ambiente por la nube el avión.

**Fractus:** Del latín "fractus", participio pasado del verbo "frangere", que significa destrozar, quebrar, fracturar, hacer pedazos.

**Humilis:** Del latín " humilis ", significa próximo al suelo, bajo, de tamaño pequeño.

**Infrarrojo:** Radiación del espectro luminoso que se encuentra por debajo del rojo visible y es de mayor longitud de onda, se caracteriza por sus efectos caloríficos. Radiación electromagnética que se suele usar para transmitir información.

**Lenticulares:** Deriva de "lenticula", que significa lenteja.

**Mediocres:** Mediano, que se mantiene en el medio.

**Nebulosus:** Lleno de neblina, cubierto por niebla, nebuloso.

**Parhelio:** Fenómeno luminoso poco común, que consiste en la aparición simultánea de varias imágenes del Sol reflejadas en las nubes y por lo general dispuestas simétricamente sobre un halo.

**Undulatus:** del latín "undulatus": Con ondas, ondulado, de "undula", que significa onda, ola.

**Virga:** las precipitaciones que tienden a evaporarse antes de alcanzar el suelo reciben este nombre.