

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN DE CONTROL EN TIERRA PARA UNA AERONAVE NO TRIPULADA DE CORTO ALCANCE

DESIGN AND CONSTRUCTION OF GROUND CONTROL STATION FOR A CLOSE-RANGE UNMANNED AERIAL VEHICLE

Ing. Rafael Mauricio Cerpa Bernal, PhD*., Ing. Pedro Luis Jiménez Soler, MSc**.,
Ing. Daniel Agudelo Noreña***, Esp. Andrés F. Téllez Velásquez****, Daniel F. Salamanca Torres*****

ABSTRACT: The progress in Unmanned Aerial Systems around the world have been useful to supply military or civil needs in environments where humans have limited access and to optimize processes that can be managed from the sky. Therefore, automation methods have been implemented to make the systems operation independent during the mission development and to carry out the desired parameters by the operator. To make the autonomous flight successful, it is necessary the implementation of a Ground Control Station (GCS) with software and equipment that allow mission tracking, since it is planned until it is accomplished. By this reason, this paper takes into account the control station design and construction for a close-range unmanned aerial vehicle, with a technical description of its architecture, main components, operation advantages and standing out key concepts related to navigation and telemetry in a short way.

Key Words: Ground Control Station, Unmanned Aerial Vehicle, Autopilot, Mission Planning, Flight Telemetry Data.

RESUMEN: Los avances en los sistemas aéreos no tripulados alrededor del mundo han sido de gran utilidad para suplir necesidades civiles o militares en ambientes donde el hombre tiene un acceso limitado y para optimizar procesos que pueden ser gestionados desde el cielo. Por lo tanto se han implementado métodos de automatización para que el funcionamiento de dichos sistemas sea totalmente independiente durante el desarrollo de su misión y que cumpla con los parámetros deseados por el operador. Para que el vuelo autónomo sea exitoso, se hace necesaria la implementación de una estación de control en tierra (GCS) que contenga software y equipos que permitan hacer un seguimiento de la misión desde que se planea hasta que se cumple. Por tal razón, en este artículo se contempla el diseño y construcción de una estación de control para aeronaves no tripuladas de corto alcance, con una descripción técnica de su arquitectura, componentes principales, ventajas de funcionamiento y destacando de manera breve conceptos clave relacionados con la navegación y la telemetría.

Palabras clave: Estación de control en tierra, aeronave no tripulada, piloto automático, planificación de misiones, telemetría de vuelo.

Fecha de recepción: 12 de junio de 2014

Fecha de aprobación: 20 de junio de 2014

*Ing. Rafael Cerpa Bernal MSc. PhD. Investigador Principal grupo AeroTech, Profesor Asociado, Universidad de San Buenaventura, Bogotá
rcerpa@usbbog.edu.co

**Ing. Pedro Luis Jiménez Soler, MSc. Investigador Principal grupo AeroTech, Profesor Asociado, Universidad de San Buenaventura, Bogotá
pjimenez@usbbog.edu.co

***Ing. Daniel Agudelo Noreña, Esp. Investigador Principal grupo AeroTech, Profesor Asistente, Universidad de San Buenaventura, Bogotá
dagudeo@usbbog.edu.co

****Andrés Felipe Téllez Velásquez. Auxiliar de Investigación grupo AeroTech / Estudiante de Ingeniería Aeronáutica, Universidad de San Buenaventura, Bogotá
Secretario de la Rama Estudiantil AIAA/USBBOG, aftellez@academia.usbbog.edu.co

*****Daniel Felipe Salamanca Torres. Auxiliar de Investigación grupo AeroTech / Estudiante de Ingeniería Aeronáutica, Universidad de San Buenaventura, Bogotá
Presidente de la Rama Estudiantil AIAA/ USBBOG, dfsalamanca@academia.usbbog.edu.co

INTRODUCCIÓN

Los sistemas no tripulados contemplan varios componentes a tener en cuenta. El primero es el sistema de vuelo, compuesto por el casco de la aeronave y todos los equipos de control instalados a bordo [1]. El segundo componente es el vínculo de comunicaciones que incluye transmisores, receptores y antenas. Por último, la estación de control en tierra (GCS), en donde se encuentran los equipos y aplicativos específicos que facilitan la interacción del operador en tierra con la aeronave, así como planear, ejecutar y ejercer control sobre las operaciones aéreas.

Otra función fundamental de la GCS es la de permitir la visualización y posterior análisis de los parámetros de vuelo, obtenidos a través de sensores de telemetría, que informan en tiempo real la actitud de la aeronaves, así como velocidades reales y relativas.

Debido a la importancia de este último componente, este proyecto contempla el diseño y desarrollo de una GCS para el monitoreo y control de una plataforma de vuelo de corto rango. Se define brevemente su estructura interna, detalles del modelado en 3D y la descripción de los componentes electrónicos que mantienen activa la transferencia de datos entre la aeronave y sus operadores. Luego se presentan los resultados obtenidos de su funcionamiento.

El objetivo es lograr entender que tecnología de punta es integrada en un sistema confiable, de fácil transporte, de peso moderado, que transmite gráficos de calidad, con un bajo consumo de energía eléctrica dándole la autonomía suficiente para desplegarse en escenarios donde no se dispone de un suministro de corriente eléctrica regular.



Figura 1. Estación de control en tierra para una aeronave no tripulada de corto alcance.

ARQUITECTURA GLOBAL DEL SISTEMA

Una plataforma de vuelo está compuesta por el vehículo no tripulado y la carga útil que este lleva a bordo como los sensores o cámaras, mientras que la estación se compone de varios dispositivos electrónicos y un ordenador portátil. Al integrar estos elementos junto con diferentes sistemas de comunicación, control y posicionamiento, se puede decir que se cuenta

con un sistema aéreo no tripulado, que por sus siglas en inglés se conoce como UAS.

Cuando se habla de la arquitectura de un sistema aéreo no tripulado, se hace referencia al arreglo de las interconexiones y flujo de información que hay entre los subsistemas de la estación de control [2]. Desde la estación de control el operador debe comunicarse con la aeronave en tiempo real para

dirigir el plan de vuelo o ir monitoreando y actualizando la misión de acuerdo a las necesidades que se vayan presentando, dicha conexión se conoce como up-link y por su parte la aeronave devolverá telemetría, imágenes y video al operador, lo que se conoce como down-link [3].



Figura 2. Arquitectura del Sistema GCS

ELEMENTOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

En la Figura 3 se muestra un esquema de transferencia de información simple, compuesto de módems, transmisor, receptor, amplificadores y antenas. El módem cumple la función de modular y demodular las señales que se transmiten, lo que se traduce en un proceso por el cual se modifican las cualidades de una onda de señales digitales en señales analógicas o viceversa para obtener una mejor transmisión y recepción de la información, desde los datos que transmite la aeronave hasta la salida de datos que recibe el ordenador. Las antenas son dispositivos que convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas de radiofrecuencia RF que contienen la información. Por su parte el transmisor emite la señal portadora, garantizando su estabilidad para que al llegar al receptor esta pueda ser transformada para reducir los ruidos y las distorsiones y así garantizar que los datos que llegaron en forma de video, imágenes o sonido serán reproducidos en tiempo real y con la mejor fidelidad posible [3].

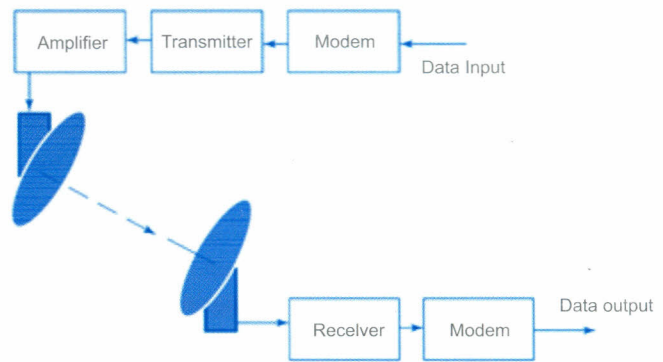


Figura 3. Diagrama del sistema de comunicación [3].

PARÁMETROS DE DISEÑO

La principal restricción durante el proceso de diseño es la facilidad de transporte de la GCS y obtener acceso fácil y rápido acceso a todas las conexiones y componentes electrónicos en caso de que necesiten ser reemplazados o se requiera instalar uno adicional. Como parámetro inicial de diseño para las dimensiones, se cuenta con un maletín de seguridad de aluminio dentro del cual se deberán acondicionar los diferentes componentes eléctricos que se describirán más adelante, esto con el fin de hacer que la estación sea portable, confiable y ocupe el menor volumen posible.

De acuerdo al espacio disponible dentro de la maleta, se selecciona el tamaño de la pantalla, la cual debe ser adecuada para lograr una imagen nítida y de alta definición. Además, se tiene presente que los materiales y elementos de sujeción usados sean resistentes, de bajo costo, confiables y simples de instalar.



Figura 4. Componentes principales adecuados al interior de la GCS

COMPONENTES ELÉCTRICOS

La estación cuenta con antenas y dispositivos receptores de señales electromagnéticas. Los principales son el ordenador portátil y el sistema de piloto automático Micro-Pilot 2028LRC®. Para la radiocomunicación se dispone de un Receptor de A/V con su antena de frecuencia de 5.8 GHz, dos antenas clover-leaf de 900 MHz y 2.4 GHz, un Tv-Box para convertir la entrada de video A/V en VGA para exportar la señal a una pantalla LED de 15" y visualizar el video en tiempo real.

Además, posee un inversor de corriente de 700 vatios para convertir la entrada de corriente continua en una salida de corriente alterna para alimentar el TV-Box. Por otra parte, la fuente energética son 3 baterías de litio-polímero de 3 celdas y 11,1 voltios cada una con una capacidad total 13200 miliamperios hora.

Como componentes complementarios se cuenta con un cronómetro para monitorear el tiempo de las misiones, un voltímetro análogo para hacer seguimiento del consumo energético y dos disipadores de calor, uno para el panel de superior que contiene la pantalla y otro para el panel inferior donde se almacena el módulo de tierra del piloto automático, con el fin de evitar zonas de sobrecalentamiento y de esta manera proteger los componentes. En la Figura 4 se muestra la disposición de los componentes descritos anteriormente. A continuación se describen los componentes que integran el sistema en tierra.

Computador Panasonic CF-52.

Ordenador portátil semi-resistente que garantiza la durabilidad y portabilidad bajo fuerzas externas. Fue diseñado por Panasonic® para soportar fuertes vibraciones, golpes por caídas, derrame de líquidos, golpes de otros objetos, temperaturas extremas y cualquier tipo factores ambientales o de manipulación que puedan afectar sus sistemas internos. Su composición externa está hecha en aleaciones de magnesio. Este se usará para operar el programa de ordenador HORIZONmp que es un software de control en tierra para la planeación y ejecución de la misión, ajuste de variables de vuelo, simulación y seguimiento de la aeronave mientras se desempeña en todas las fases. El software brinda una interfaz sencilla pero a su vez es un programa robusto por sus comandos y configuración.



Figura 5. Computador Panasonic Toughbook

Módulo en tierra Piloto Automático MicroPilot 2028LRC®

El sistema Micropilot 2028LRC® es la base fundamental de la navegación automática que guía vehículos aéreos no tripulados (UAV). Además, brinda la posibilidad de controlar varios parámetros de vuelo, tales como mantener una velocidad crucero, altitud y control durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje. Adicionalmente, permite al operador introducir coordenadas de GPS para la creación de planes de vuelo antes y durante las misiones, siendo este uno de los sistemas de navegación automática más confiables por su sistema redundante en la comunicación de la aeronave durante la misión, obtención de datos de telemetría, y configuración de los parámetros de vuelo [4].

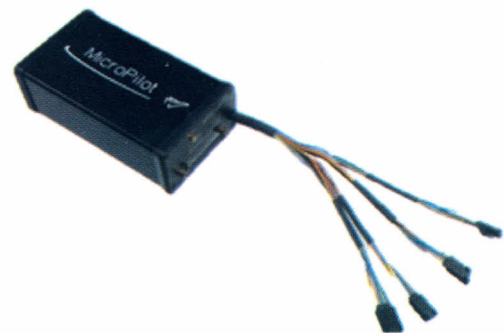


Figura 6. MicroPilot 2028LRC®

REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE

La estación en tierra funciona para soportar un software de adquisición, manipulación y visualización de datos. Este software lo proveen los fabricantes del piloto automático que para este caso corresponde a HORIZONmp.

El objetivo es que el operador se encuentre en un entorno digital emulando una cabina de vuelo con todas las herramientas e indicadores necesarios para controlar la aeronave remotamente [4]. Este debe contener como mínimo:

- Horizonte Artificial.
- Indicador de Viraje y Coordinación.
- Brújula.
- Indicador de Velocidad.
- Altímetro.

Además de sistemas de advertencia y monitoreo que brinden información sobre:

- Indicador de Actitud
- Aceleración.
- RPM del Motor.
- Voltaje de las Baterías.
- Temporizador.



Figura 7. Interfaz de Usuario HORIZONmp.

REPRESENTACIÓN DIGITAL DE LA ESTACIÓN

Con ayuda del software CATIA V5 se realiza un modelo detallado que describe la ubicación los componentes eléctricos dentro del maletín sin incluir el ca-

bleado. Lo más importante de esta fase es diseñar los paneles que protegerán el equipo y los cuales servirán de soporte para ubicar elementos como el voltímetro, los disipadores, adaptar los conectores de las antenas y soportar la pantalla. La importancia de que el modelo sea muy preciso y que los paneles queden con las medidas exactas reside en que a partir de ese modelo se obtienen los planos que son identificados en una máquina de corte láser para la fabricación de estas piezas y además para que en el momento de su instalación todo ensamble sin inconveniente. En caso de que se requiera hacer modificaciones futuras por la instalación de algún nuevo sistema, se cuenta con la ventaja de tener los paneles parametrizados, lo que facilita hacer modificaciones en un corto tiempo y con gran precisión. A continuación se muestra la representación digital de la estación.

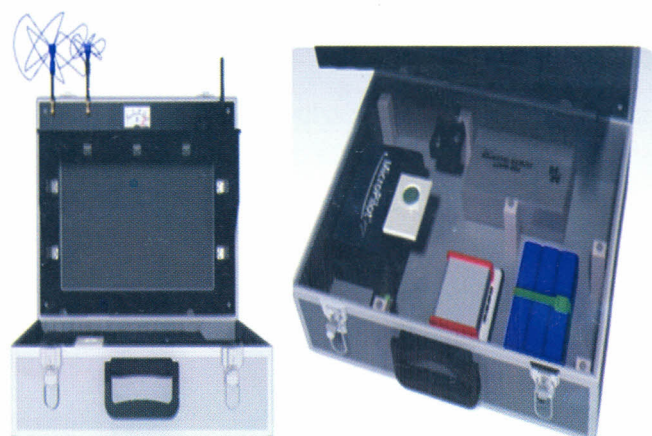


Figura 8. Representación digital de la estación de control en CATIA V5

CONSTRUCCIÓN Y ENSÁMBLE

Después del modelado completo de la GCS con la herramienta CATIA V5, teniendo en cuenta la geometría de los sistemas, su distribución, tolerancias, sistemas de cierre del maletín, y ajuste de los componentes en la estructura, se desarrolló un proceso evaluativo de cada parte y se definió cada uno de los materiales y elementos de sujeción que satisfagan los requerimientos de operación. Los paneles de soporte superior e inferior fueron fabricados en acrílico de 3 milímetros de espesor, debido a su alta resistencia mecánica, bajo peso y acabado. Al interior del maletín, se incluyeron estructuras en madera que garantizan el soporte de los paneles principales.



Figura 10. Fabricación de los paneles en cortadora láser

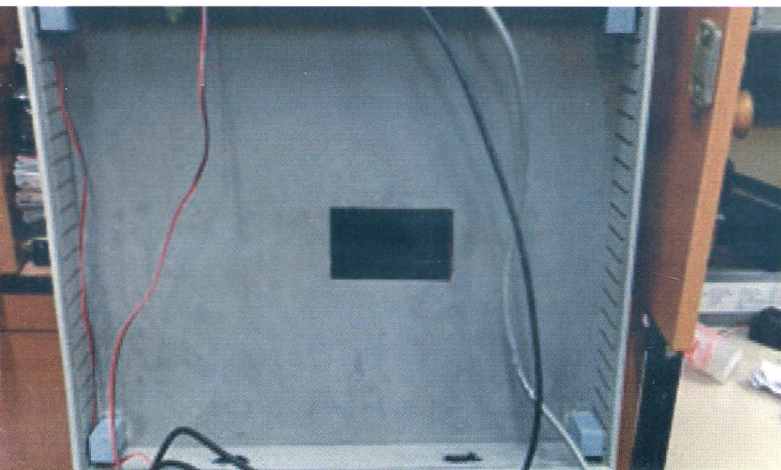


Figura 11. Soportes en la zona de la pantalla.

Teniendo el diseño definido, se procedió a hacer los cortes de los paneles que darán la estructura rígida a la estación de control, integrando un diseño estético para darle un valor agregado. Por un lado, se cortan los paneles que estarán estáticos y por otro unas láminas que por medio de un mecanismo de bisagras se podrán abrir y cerrar para proteger la pantalla cuando el maletín esté cerrado y para evitar que el brillo sobre la pantalla afecte la visibilidad mientras está en funcionamiento.

Después del corte de todos los componentes, se verificó que las medidas y tolerancias incluidas en la visualización digital, coincidieran con el modelo real. La figura 12 muestra la distribución preliminar de to-

dos los componentes en el compartimiento inferior. Para sujetar cada dispositivo del sistema se optó por utilizar velcro en la cara en contacto con el maletín, dándole la facilidad al operador de retirar para inspección, mantenimiento, cambio de componentes, todo sin poner en riesgo la integridad estructural de la estación. Cuenta con una zona de fácil acceso para que el operador pueda energizar la estación, disipadores de calor y medidor de voltaje.



Figura 12. Distribución de los componentes al interior de la estación de control.

Al final de la etapa de construcción y ensamble de la estación se hace un contraste entre lo diseñado y lo obtenido como se muestra en la imagen a continuación.

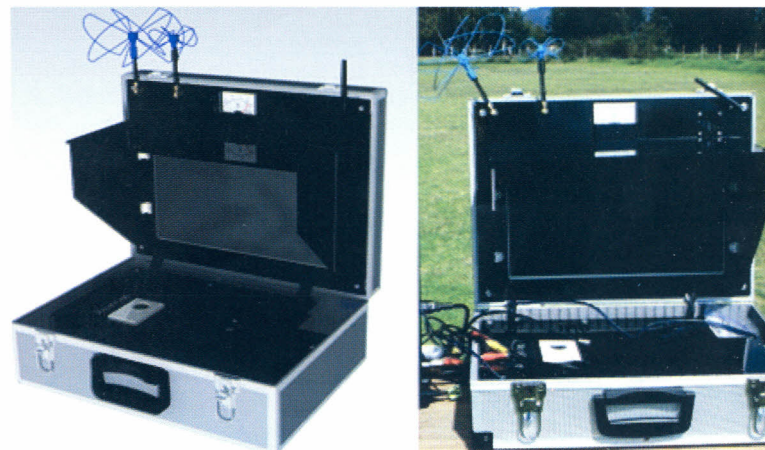


Figura 13. A la izquierda el modelo 3D, a la derecha el resultado final

CONSUMO ENERGÉTICO

El consumo energético de la GCS se puede visualizar conectando la fuente de poder y la entrada de corriente a un Watt-Meter, sin tener en cuenta el ordenador portátil porque este va conectado a una fuente externa a las baterías. Las baterías LiPo poseen la capacidad en mili-Amperios por hora (mAh) e indican la capacidad de energía que pueden almacenar y devolver durante su descarga. Esto se hace con el fin de conocer la autonomía de la GCS para una misión, lo que se traduce en el tiempo de descarga t_d que viene dado por:

$$t_d = \frac{\text{carga eléctrica batería}}{\text{consumo eléctrico dispositivo}} \quad (1)$$

Luego de hacer las mediciones para una variación de cada 0.1 A/h se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 1. para las dos baterías que alimentan el sistema de video.

Consumo (A/h)	Tiempo (s)	Δ Tiempo (s)
0.020	139	139
0.120	280	141
0.220	421	141
0.320	563	142
0.420	705	142
Tiempo Promedio		141

Por lo cual, conociendo que las dos baterías del sistema de video suman en total 8000 mA y que el consumo se da de 100 mA por aproximadamente cada 2.35 min, se aplica la ecuación (1):

$$t_d = \frac{8000 \text{ mA}}{\frac{100 \text{ mA}}{2.35 \text{ min}}} = 188 \text{ min} \quad \boxed{t_d \cong 3 \text{ horas}}$$

La autonomía de 3 horas es la más adecuada para el cumplimiento de la misión de aeronaves con autonomía de 40 min.

PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA MISIÓN

En el momento de comprobar el funcionamiento de la GCS y luego de saber la misión que se va a ejecutar, se deben conocer muy bien las capacidades de la aeronave y el espacio donde se va a operar. Es importante conocer muy bien el terreno, los límites políticos, zonas prohibidas para el vuelo, localización de caminos, zonas pobladas y posibles factores que produzcan interferencia con el receptor o el radio-control. Un plan da el primer paso cuando se definen los waypoints o coordenadas geográficas en el ordenador, para establecer qué ruta debe seguir el vehículo aéreo ya que son una combinación entre latitud, longitud y altitud. Dentro del plan también se debe tener en cuenta cuál va a ser la máxima tasa de ascenso y descenso, la velocidad máxima y mínima y el radio mínimo de giro. Todos estos parámetros pueden ser definidos en el software HORIZON^{mp}.

Se debe tener un equipo encargado de operar la aeronave desde diferentes áreas, en especial cuando la misión es compleja y requiere de muchos detalles. Los roles más comunes son el Operador Principal (AVO) y el Operador Secundario en la misión (MPO). El primero se encarga de controlar la aeronave durante el despegue, las operaciones en vuelo, aterrizaje y operaciones en tierra, mientras que el segundo gestiona toda la información recolectada en la GCS. En algunas ocasiones se incluye también un Comandante de Misión, que se asegura de que todos los objetivos se cumplan, un Manager de Comunicaciones que es responsable de verificar que todos los sistemas y subsistemas estén transfiriendo información y se comuniquen entre sí, un Especialista de Inteligencia quien analiza la información más a profundidad que el Operador Secundario y soluciona posibles problemas de manera oportuna y por último un Observador Climático, que está al tanto de los pronósticos del clima y predice la meteorología para misiones de larga duración, que aplicarían más cuando se habla de misiones militares o de mayor complejidad. Para una estación como esta es suficiente contar con tres operadores principales.



Figura 14. Pruebas de los sistemas de la GCS en Aeronave Kadet Senior.

PROYECCIÓN DE DESARROLLO DE GCS

Con los nuevos avances en dispositivos tecnológicos cada vez más pequeños, se requiere estar a la vanguardia y por eso el siguiente paso es pensar en una estación de control que sea de fácil movilidad para cualquier tipo de operadores. Incluso, que su interfaz sea tan sencilla que cualquier persona con un vehículo aéreo no tripulado pueda darle una misión con simplemente oprimir un botón sin necesidad de tener conocimientos sobre cómo funciona un sistema aéreo. La proyección es desarrollar una estación ligera LGCS (Light Ground Control Station) que permita monitorear un vuelo autónomo desde un dispositivo móvil como una tablet o un Smartphone. Es un avance que está tomando fuerza en varios países y el objetivo es impulsar ese desarrollo para hacer los sistemas no tripulados, herramientas provechosas para cualquier tipo de público.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente al semillero de investigación SANT (Semillero de Aeronaves No Tripuladas) por la oportunidad de desarrollar y estar abiertos a nuevas tecnologías aeronáuticas y a los estudiantes de la Rama estudiantil AIAA quienes fueron un apoyo constante en la realización del proyecto.

REFERENCIAS

1. D. Agudelo and P. Jiménez, Metodología de diseño de aeronaves no tripuladas, teoría y fundamentos, Madrid: Editorial Académica Española, 2012.
2. R. Austin, Unmanned Aircraft Desing, West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltda., 2010.
3. J. Gundlach, Designing Unmanned Aircraft Systems: A comprehensive approach, Manassas, Virginia: AIAA, 2011.
4. Micropilot Inc., "Micropilot Autopilot Installation & Operation," 2005.
5. A. Philip, Development of a UAV ground control station, Msc. Thesis, 2002.