

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS PARA AMPLIAR EL RANGO DE OPERATIVIDAD DEL PROYECTO UAV DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.”

REALIZADO POR:

WILIAN PATRICIO GUAMÁN CUENCA
GUSTAVO VLADIMIR LEÓN CASTILLO

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del
grado de

INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

AÑO 2013

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Ing. Marcelo Silva (DIRECTOR)

Ing. Félix Manjarrés (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS PARA AMPLIAR EL RANGO DE OPERATIVIDAD DEL PROYECTO UAV DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”** fue realizado en su totalidad por los señores: WILIAN PATRICIO GUAMÁN CUENCA Y GUSTAVO VLADIMIR LEÓN CASTILLO, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, el mismo que ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que ayudará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, Sí recomiendan su publicación.

Latacunga, 31 de Mayo del 2013.

Ing. Marcelo Silva
DIRECTOR

Ing. Félix Manjarrés
CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE
INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros:

Wilian Patricio Guamán Cuenca

Gustavo Vladimir León Castillo

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS PARA AMPLIAR EL RANGO DE OPERATIVIDAD DEL PROYECTO UAV DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que consta al pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

En tal virtud, declaramos la autenticidad de este contenido y para los efectos legales y académicos que se desprenden del presente proyecto de grado, es y será de nuestra autoría, responsabilidad legal y académica.

Latacunga, 31 de Mayo del 2013.

Wilian Guamán C.

C.I. 060357895-6

Gustavo León C.

C.I. 150078721-1

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros:

Wilian Patricio Guamán Cuenca

Gustavo Vladimir León Castillo

AUTORIZAMOS:

A La Escuela Politécnica Del Ejército, la publicación en la Biblioteca Virtual y/o revistas de la institución nuestro trabajo **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS PARA AMPLIAR EL RANGO DE OPERATIVIDAD DEL PROYECTO UAV DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 31 de Mayo del 2013.

Wilian Guamán C.

C.I. 060357895-6

Gustavo León C.

C.I. 150078721-1

DEDICATORIA

A mis padres, Vicente y Aurora, cada logro alcanzado en mi vida es por y para ustedes, siempre, por darme su amor y apoyo incondicional, son mi mayor orgullo y la fuente verdadera del éxito y unión familiar.

A mis hermanos John, Diana, Santiago, Darío, en quienes me he sentido fortalecido en todo momento y tengo la seguridad que llegarán mucho más lejos.

A todos quienes creyeron y creen en mí...

Wilian Guamán Cuenca

Este trabajo lo dedico a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, a mis hermanas y sobre todo a mi querida esposa, para todos ellos va dedicado este logro.

Gustavo León Castillo

AGRADECIMIENTO

Deseo reconocer mi agradecimiento a la noble institución que me acogió durante cinco años, la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga y todo su cuerpo docente, fundamentalmente a quienes tienen a bien formar los futuros ingenieros electromecánicos del país.

Además me permito agradecer a la Fuerza Aérea Ecuatoriana y mi compañero Gustavo con quién emprendimos este ambicioso proyecto, por la confianza depositada y el apoyo constante.

Finalmente agradezco a nuestros directores de tesis, Ing. Marcelo Silva e Ing. Félix Manjarrés por su aporte y guía en la elaboración del proyecto.

Wilian Guamán Cuenca

Como no agradecer a Dios por regalarme la vida y permitirme alcanzar este logro, que ennoblece mi profesión, gracias Señor por haberme dado las fuerzas necesarias.

A mi querida Universidad, la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga, que me recibió como alumno militar y como estudiante he aprendiendo los principios teóricos y prácticos para ser un mejor profesional en la Institución a la que pertenezco.

También a todos los docentes que nos compartieron una parte de sus conocimientos y experiencias, en especial a nuestros tutores del proyecto final de carrera para darnos cuenta al final que aún falta mucho por aprender.

Gustavo León Castillo

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xx
ANTECEDENTES.....	xxi
RESUMEN.....	xxii
SUMMARY.....	xxiii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	xxiv
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	xxv
OBJETIVOS.....	xxvi
CONTENIDO	xxvii
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1 HISTORIA DE LOS UAV	1
1.2 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV).....	2
1.2.1 Aplicaciones militares	3
1.2.2 Aplicaciones civiles	3
1.2.3 Clasificación de los UAV	4
1.3 ANTENAS.....	5
1.3.1 Características de las antenas.....	6
1.3.2 Tipos de antenas	6
a. Antenas direccionales.-	7
1.4 MECANISMO DE APUNTAMIENTO DE ANTENAS (APM)	8

1.4.1 Sistema de tracción directo.....	9
1.4.2 El sistema de tracción indirecta.	9
1.5 MOVIMIENTO EN AZIMUT - MOTORES PASO A PASO	10
1.5.1 Principio de funcionamiento.....	10
1.5.2 Tipos de motores paso a paso.....	11
a. Bipolar.....	11
b. Unipolar:.....	12
1.5.3 Secuencias para manejar motores paso a paso Bipolares	12
1.6 MOVIMIENTO EN ELEVACIÓN - ACTUADORES.....	14
1.6.1 Tipos de actuadores	14
1.6.2 Actuadores Eléctricos.	15
1.7 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO MECÁNICO	16
1.7.1 Tipos de transmisión.....	16
1.7.2 Engranajes.....	17
a. Engranajes cónicos de dientes rectos	17
b. Engranajes cónicos helicoidales.....	17
c. Engranaje cónico hipoide.....	18
1.8 SOFTWARE ANSYS	19
1.8.1 Características	19
a. Integrado.....	19
b. Modular	19
c. Extensible.....	19
1.8.2 Proceso típico de realización de un cálculo	20
a. Pre-proceso	20
b. Proceso.....	20

c. Post-proceso	20
1.9 SOFTWARE SOLIDWORKS.....	21
1.10 INTERFACE HOMBRE-MAQUINA (H.M.I)	22
1.10.1 Introducción al H.M.I.	22
1.10.2 Diseño de interface para hacer H.M.I.	22
1.10.3 Modelos	22
a. Modelo del usuario.....	23
b. Modelo del programador	23
c. Modelo del diseñador.....	23
1.11 SOFTWARE LABVIEW.....	23
1.11.1 ¿Qué es el LabView?.....	23
1.11.2 Ambiente de Desarrollo.....	24
a. Depuración.....	24
b. Facilidades de desarrollo	24
1.11.3 Lenguaje de Programación.....	24
CAPÍTULO II.....	25
DISEÑO Y SELECCIÓN.....	25
2.1 DISEÑO MECÁNICO.....	25
2.1.1 Criterios de Diseño.	25
a. Requerimientos del CIDFAE	26
b. Casa de la Calidad.....	27
c. Modelo 1, TIPO RADAR	28
d. Modelo 2, TIPO COMERCIAL.....	28
e. Modelo 3, TIPO EXPERIMENTAL	29
2.1.2 Selección del Modelo a implementar	30

a. Bosquejo del Apuntador Electromecánico de Antenas	31
b. Condiciones Meteorológicas	32
2.1.3 Selección del material	33
a. Acero ASTM A36 en la estructura del apuntador	34
b. Acero Inoxidable AISI 316 en la unión estructura - antena	34
2.1.4 Características de la antena para el proyecto UAV	35
a. Antena Parabólica TEKNO TELECOM P008L	35
2.1.5 Componentes del apuntador electromecánico de antenas	37
2.1.6 Diseño y selección del árbol de transmisión	38
a. Cargas debido al viento (Cargas Vivas).....	38
b. Cargas debido al sistema de transmisión (Cargas Vivas).....	40
c. Cargas debido al peso de los componentes (Cargas Muertas).....	41
d. Diagrama de fuerzas cortantes y Momentos Flectores	42
e. Diámetro del árbol de transmisión	44
2.1.7 Selección de los cojinetes de rodamientos	48
a. Tipo de rodamiento para el árbol de transmisión	49
b. Vida útil de rodamiento para el árbol de transmisión	49
a. Tipo de rodamiento para los pivotes de la antena	51
b. Vida útil de rodamiento para los pivotes de la antena.....	52
2.1.8 Selección del Sistema de Transmisión	55
2.1.9 Selección del Motor Paso a Paso	56
2.1.10 Selección del actuador lineal	63
a. Generación de la trayectoria del actuador lineal	64
2.1.11 Modelado de la estructura mediante SolidWorks.....	67
a. Componentes eléctricos/electrónicos.	67

b. Estructura superior móvil.	68
c. Estructura inferior y árbol de transmisión	68
d. Estructura de soporte y desplazamiento	69
e. Estructura total del Apuntador Electromecánico de Antenas.	70
2.1.12 Análisis de la estructura mediante ANSYS 14	71
a. Estructura Superior	71
b. Árbol de Transmisión	74
c. Estructura Inferior.....	78
d. Estructura de soporte y desplazamiento	81
2.2 DIAGRAMA DE DISEÑO DEL APUNTADOR DE ANTENAS.	85
2.3 DISEÑO ELÉCTRICO	86
2.3.1 Características de los componentes eléctricos.....	86
2.3.2 Fuentes de energía	86
a. Actuador lineal eléctrico	87
b. Motor paso a paso	87
2.4 DISEÑO ELECTRÓNICO	89
2.4.1 Descripción del sistema electrónico.....	89
2.4.2 Selección del Controlador del Apuntador de Antenas.....	89
a. Módulo de expansión NI 9870	90
b. Módulo de expansión Ni 9401.....	90
c. Módulo de expansión Ni 9505.....	91
2.4.3 Driver de Control de Posición en Azimut NI P70530.....	92
2.4.4 Micro-controlador ATmega164P	93
a. Descripción de Pines	94
b. Diagrama electrónico de control mediante software Proteus.....	96

2.4.5 Control de Posición en Elevación	100
2.4.6 Programación del Microcontrolador con BASCOM AVR.....	103
a. Secuencia del circuito de control	103
2.4.7 Diagrama de implementación del diseño electrónico.....	106
2.4.8 Interface HMI del Sistema de Apuntador de Antenas.....	107
a. Formación de la Trama y movimiento en azimut	107
b. Transformación del Encoder	108
c. Movimiento en Elevación	109
CAPÍTULO III.....	110
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN	110
3.1 CONSTRUCCIÓN MECÁNICO ESTRUCTURAL	110
3.1.1 Estructura superior.....	110
3.1.2 Estructura inferior.....	111
3.1.3 Árbol de transmisión	112
3.1.4 Estructura de soporte y desplazamiento	113
3.1.5 Niveladores mecánicos del apuntador	114
3.1.6 Acople del Actuador Lineal	115
3.2 DIAGRAMA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN.....	116
3.2.1 Diagrama de Procesos de la estructura superior.....	116
3.2.2 Diagrama de Procesos de la estructura inferior.....	117
3.2.3 Diagrama de Procesos de la estructura de soporte.....	118
3.2.4 Diagrama de Procesos del árbol de transmisión.....	119
3.2.5 Diagrama de Procesos de los niveladores mecánicos.....	120
3.2.6 Diagrama de Procesos del acople del actuador lineal	121
3.2.7 Diagrama de Procesos del ensamblaje de la estructura.....	122

3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	123
3.3.1 Cableado en la estructura superior	123
3.3.2 Conexiones eléctricas en la estructura inferior	123
CAPÍTULO IV.....	126
PRUEBAS Y RESULTADOS	126
4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE HARDWARE	126
4.1.1 Movimiento en azimut	126
a. Prueba 1 azimut.....	126
b. Prueba 2 azimut.....	128
c. Prueba 3 azimut	129
4.1.2 Movimiento en elevación.....	129
a. Prueba 1 elevación	130
b. Prueba 2 elevación	131
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE SOFTWARE	132
4.2.1 Interface HMI en LabView	132
4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL APUNTADOR.....	136
4.4 PRUEBAS DE CAMPO.	139
4.5 RESULTADOS	143
4.5.1 Movimiento en azimut.....	143
4.5.2 Movimiento en elevación.....	144
4.5.3 Funcionamiento del Sistema de Apuntador Electromecánico.....	145
4.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL APUNTADOR	146
4.6.1 Alcances	146
4.6.2 Limitaciones	147
4.7 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.	148

CAPÍTULO V.....	151
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	151
5.1 CONCLUSIONES	151
5.2 RECOMENDACIONES.....	153
BIBLIOGRAFÍA.....	154
ÍNDICE DE ANEXOS.....	158

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. 1 UAV Pioneer en misión de vigilancia sobre Irak	2
Figura 1. 2 UAV Close de las Fuerzas Armadas de USA.	4
Figura 1. 3 Sistema de apuntamiento de antenas en Manta.....	5
Figura 1. 4 Antena parabólica de 20dBi, alcance de 10km a 2Mb/s	6
Figura 1. 6 Área de cobertura de una antena direccional.	7
Figura 1. 7 APM con soporte montado sobre dos ejes	8
Figura 1. 8 APM con motores lineales y pivote flexible.....	9
Figura 1. 9 APM con motores lineales.	9
Figura 1. 10 Motor paso a paso bipolar.	10
Figura 1. 11 Puente-H Integrado controlando un motor P-P bipolar.	11
Figura 1. 12 Puente-H Integrado controlando un motor P- P unipolar.	12
Figura 1. 13 Actuador lineal eléctrico.....	15
Figura 1. 14 Engranajes cónicos de dientes rectos	17
Figura 1. 15 Engranajes cónicos helicoidales	18
Figura 1. 17 Logo SolidWorks.....	21
Figura 1. 18 Equipos HMI Simatic.....	22

CAPÍTULO II

Figura 2. 1 Apuntador de antenas de la Marina en Manta	28
Figura 2. 2 Apuntador de antenas comercial RF HAMEDESIGN.....	29
Figura 2. 3 Prototipo para movimiento de la cámara anecoica	29
Figura 2. 4 Bosquejo del apuntador de antenas a tentativo.....	31
Figura 2. 5 Frecuencias de tiempo y velocidad media, agosto 2012	33
Figura 2. 6 Antena Parabólica TEKO TELECOM P008L	35
Figura 2. 7 Modelado de antena Parabólica TEKO TELECOM P008L	36
Figura 2. 8 Componentes del apuntador de antenas	37

Figura 2. 9 Cargas que afectan el árbol de transmisión.....	43
Figura 2. 10 Diagrama de fuerzas cortantes del árbol	44
Figura 2. 11 Diagrama de momentos flectores del árbol	44
Figura 2. 12 Rodamiento de rodillos cónicos axial.....	48
Figura 2. 13 Rodamiento de rodillos cónicos axial.....	52
Figura 2. 14 Apuntador de antenas en SolidWorks.....	57
Figura 2. 15 Gráfica Torque vs Velocidad del Motor ^[12]	62
Figura 2. 16 Actuador Lineal eléctrico LACT12P ^[14]	64
Figura 2. 17 Sistema de movimiento en elevación de la antena.....	64
Figura 2. 18 Posición de la antena VS longitud de carrera	66
Figura 2. 19 Modelado del actuador eléctrico lineal LACT12P	67
Figura 2. 20 Modelado del motor paso a paso bipolar 8718L-02S.....	67
Figura 2. 21 Estructura superior móvil	68
Figura 2. 22 Estructura inferior con árbol de transmisión acoplado	69
Figura 2. 23 Estructura de soporte y desplazamiento.....	69
Figura 2. 24 Estructura del apuntador con la antena TEKO TELECOM ..	70
Figura 2. 25 Estructura del apuntador de antenas construido	70
Figura 2. 26 Deformación total, análisis estático.....	71
Figura 2. 27 Deformación elástica equivalente, análisis estático.....	71
Figura 2. 28 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis estático.....	72
Figura 2. 29 Factor de seguridad, análisis estático.....	72
Figura 2. 30 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis dinámico.....	73
Figura 2. 31 Deformación elástica equivalente, análisis dinámico	73
Figura 2. 32 Factor de seguridad, análisis dinámico.....	74
Figura 2. 33 Deformación total, análisis estático.....	74
Figura 2. 34 Deformación elástica equivalente, análisis estático.....	75
Figura 2. 35 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis estático.....	75
Figura 2. 36 Factor de seguridad, análisis estático.....	76
Figura 2. 37 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis dinámico.....	76
Figura 2. 38 Deformación elástica equivalente, análisis dinámico	77
Figura 2. 39 Factor de seguridad, análisis estático.....	77

Figura 2. 40 Deformación total, análisis estático.....	78
Figura 2. 41 Deformación elástica equivalente, análisis estático	78
Figura 2. 42 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis estático.....	79
Figura 2. 43 Factor de seguridad, análisis estático.....	79
Figura 2. 44 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis dinámico.....	80
Figura 2. 45 Deformación elástica equivalente, análisis dinámico	80
Figura 2. 46 Factor de seguridad, Análisis dinámico	81
Figura 2. 47 Deformación total, análisis estático.....	81
Figura 2. 48 Deformación elástica equivalente, análisis estático	82
Figura 2. 49 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis estático.....	82
Figura 2. 50 Factor de seguridad, análisis estático.....	83
Figura 2. 51 Deformación elástica equivalente, análisis dinámico	83
Figura 2. 52 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis dinámico.....	84
Figura 2. 53 Factor de seguridad, análisis dinámico.....	84
Figura 2. 54 Fuente de energía TDK- Lambda SWS600L/60	88
Figura 2. 55 Especificaciones de la fuente de energía SWS1000L-60	88
Figura 2. 56 Controlador Industrial NI Crio-9014	90
Figura 2. 57 Módulo NI 9870 serial	90
Figura 2. 58 Módulo de expansión Ni 9401	91
Figura 2. 59 Módulo de expansión Ni 9505	91
Figura 2. 60 Driver NI P70530 para motor a pasos bipolar.....	92
Figura 2. 61 Configuración de pines para control del motor a pasos.....	92
Figura 2. 62 LCD 20x4 para calibrar la posición en azimut.....	93
Figura 2. 64 Pines de Salida del ATmega164P/324P/644P.....	95
Figura 2. 65 Comunicación tarjeta – Compact Rio.....	96
Figura 2. 66 Diagrama de conexiones Atmega 164P.....	97
Figura 2. 67 Conversor DC/DC (12 a 5) V	97
Figura 2. 68 Conexión del LCD 20x4 para calibración.....	98
Figura 2. 69 Circuito conmutador spliter	98
Figura 2. 70 Circuito de control step	99
Figura 2. 71 Circuito de control dirección.....	99

Figura 2. 72 Circuito de control enable/disable	99
Figura 2. 73 Diagrama de tiempos del funcionamiento de un servo	100
Figura 2. 74 Gráfica de posición en elevación VS PWM.....	102
Figura 2. 75 Diagrama de tiempos de funcionamiento del actuador	102
Figura 2. 76 Circuito de control del movimiento en elevación	103
Figura 2. 79 Trama de envío al micro controlador Atmega 164P	108
Figura 2. 80 Formación de la trama en LabView	108
Figura 2. 81 Transformación del encoder en LabView.....	109
Figura 2. 82 Movimiento en elevación en LabView.....	109

CAPÍTULO III

Figura 3. 1 Soldadura y acabados de la estructura Superior.	110
Figura 3. 2 Montaje de anclajes en la antena y la estructura superior ...	111
Figura 3. 3 Proceso de construcción de la estructura inferior	112
Figura 3. 4 Montaje del árbol de transmisión a la estructura inferior.....	112
Figura 3. 5 Sistema con engranajes cónicos de dientes rectos	113
Figura 3. 6 Construcción de la estructura de soporte y desplazamiento	114
Figura 3. 7 Montaje de los niveladores mecánicos del apuntador	115
Figura 3. 8 Acople del actuador lineal montado en la estructura	115
Figura 3. 9 Implementación eléctrica en la estructura superior.....	123
Figura 3. 10 Implementación eléctrica en la estructura inferior.....	124
Figura 3. 11 Conexiones eléctricas en la estructura inferior	124

CAPÍTULO IV

Figura 4. 1 Prueba 1 del movimiento en azimut.....	127
Figura 4. 2 Prueba del movimiento en elevación, 20 grados	130
Figura 4. 3 Funcionamiento del movimiento en elevación.	131
Figura 4. 4 Configuración del puerto.....	132

Figura 4. 5 Selección de la velocidad de transmisión	133
Figura 4. 6 Visualización de parámetros en LCD 20x4	133
Figura 4. 7 Funcionamiento del HMI	134
Figura 4. 8 Visualización de Trama.....	134
Figura 4. 9 Selección de Antena mediante HMI.....	135
Figura 4. 10 Introducción del Set Point 180°.....	135
Figura 4. 11 Explicación de la prueba en tierra.....	136
Figura 4. 12 Barrido de 360° en azimut de la antena.....	137
Figura 4. 13 Espectro de potencia movimiento en azimut de la antena.	137
Figura 4. 14 Barrido de 0° a 90° en elevación de la antena.....	138
Figura 4. 15 Barrido en elevación de la antena	138
Figura 4. 16 Imagen capturada, Laguna de Yambo.....	139
Figura 4. 17 Simulación de la misión con el programa STK	140
Figura 4. 18 Ruta Santa Cecilia-Lago Agrio.....	141
Figura 4. 19 Imagen ruta Santa Cecilia- Lago Agrio	143
Figura 4. 20 Descenso a la pista Santa Cecilia del UAV “FÉNIX”.....	143
Figura 4. 21 Grafica de error en el movimiento en azimut	144
Figura 4. 22 Grafica de error en el movimiento en elevación.....	145
Figura 4. 23 Apuntador de antenas China BMP	150
Figura 4. 24 Apuntador estadounidense The Marcus UAV Corp.	150

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1. 1 Secuencia para controlar motores P-P bipolares.....	13
--	----

CAPÍTULO II

Tabla 2. 1 Ponderación de alternativas del Apuntador de Antenas	30
Tabla 2. 2 Velocidad del viento promedio en el Ecuador	32
Tabla 2. 3 Propiedades del Acero ASTM A36	34
Tabla 2. 4 Propiedades del Acero Inoxidable AISI 316.....	34
Tabla 2. 5 Características Eléctricas de la antena TEKO TELECOM	35
Tabla 2. 6 Características Mecánicas de la antena TEKO TELECOM	36
Tabla 2. 7 Características de la antena para el diseño mecánico.....	37
Tabla 2. 8 Cargas aplicadas al árbol de transmisión	42
Tabla 2. 9 Características del tubo redondo cédula 40	45
Tabla 2. 10 Guía de valores requeridos de vida nominal $L_{10h}^{[12]}$	49
Tabla 2. 11 Características del motor a pasos bipolar 8718L-02S.....	61
Tabla 2. 12 Posición en elevación de la antena vs longitud de carrera ...	65
Tabla 2. 13 Características de los componentes eléctricos	86
Tabla 2. 14 Registro de horas de vuelo cumplidas del proyecto UAV	87
Tabla 2. 15 Posición en elevación de la antena VS tiempos PWM.....	101

CAPÍTULO IV

Tabla 4. 1 Datos registrados en la prueba 1 - azimut	127
Tabla 4. 2 Datos registrados en la prueba 2 - azimut	128
Tabla 4. 3 Datos registrados en la prueba 3 - azimut	129
Tabla 4. 4 Datos registrados en la prueba 1 - elevación.....	131
Tabla 4. 5 Datos registrados en la prueba 2 - elevación.....	132
Tabla 4. 6 Resumen de resultados de vuelo con el UAV "Fénix"	141
Tabla 4. 7 Resumen de costos totales del proyecto	148

ANTECEDENTES

La Fuerza Aérea Ecuatoriana, comprometida con el desarrollo del país y con el apoyo de la Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia y Tecnología (SENESCYT), creó el Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE (CIDFAE), localizado en el Aeropuerto de Chachoán, en la ciudad de Ambato. Donde se han implementado proyectos innovadores como la Plataforma de Gran Altitud (PGA) y en la actualidad, el proyecto Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) que consiste en utilizar una aeronave no tripulada construida en el país íntegramente para proyectos de seguridad e investigación por su capacidad de llegar a lugares de difícil acceso.

En función de optimizar resultados en las comunicaciones entre la estación de Tierra y el UAV, se plantea el diseño y construcción del apuntador electromecánico de antenas versátil y fácil de transportar a donde las misiones lo requieran.

La importancia de este ambicioso proyecto radica en crear nuestra propia tecnología aeronáutica, ampliando el campo investigativo y motivando el avance tecnológico nacional. La independencia tecnológica del Ecuador es un paso fundamental para lograr el desarrollo nacional.

RESUMEN

El proyecto UAV de la Fuerza Aérea Ecuatoriana consiste en monitorear zonas de difícil acceso por medio de un Vehículo Aéreo no Tripulado diseñado y construido íntegramente en el Ecuador, para lo cual el UAV incorpora una cámara de alta resolución que transmite la señal de video a una estación en tierra llamado Shelter.

El problema radica en que existen frecuentes pérdidas de enlace, debido a que las antenas que establecen la comunicación son omnidireccionales y fijas, ante lo cual surge la necesidad de ampliar el rango de operatividad del UAV, es decir que la visualización de video en tiempo real se mantenga.

Este proyecto establece el diseño y construcción del sistema de apuntamiento electromecánico de antenas, el cual es un mecanismo que permite que la antena fija en tierra, se pueda desplazar en dos grados de libertad, azimut y elevación, para luego integrar al sistema electrónico de posicionamiento desarrollado por el personal de CIDFAE, y ser capaz de seguir la trayectoria del UAV en el espacio aéreo.

Desde el punto de vista económico, comprar estos equipos en el extranjero, resulta extremadamente elevado, además de que la seguridad y soberanía nacional se verían limitadas a la capacidad de desarrollo tecnológico de la empresa que vendiera esta maquinaria a nuestro país.

SUMMARY

The UAV project of the Ecuadorian Air Force consists in monitoring remote and difficult areas through an Unmanned Aerial Vehicle designed and built entirely in Ecuador, for which the UAV incorporates a high-resolution camera that transmits video signal to a ground station called Shelter.

The problem lies to there are frequent loss of connection because the establishing communication antennas are omnidirectional and fixed, to which the requirement arises to extend the operating range of the UAV, it meaning the display of real-time video all time.

This project provides the design and construction of electromechanical tracking system of antennas, which is a device that allows the fixed antenna on the ground, can be moved in two degrees of freedom, azimuth and elevation, and them integrate to the positioning electronic system of antennas developed by CIDFAE staff, and being able to following the path of UAV in the airspace.

From the economic point of view, to buy this equipment abroad, it is extremely high price, besides the security and national sovereignty would be limited to technological development capacity of the company that selling this machinery to our country.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proyecto UAV depende íntegramente de la comunicación en forma inalámbrica entre el vehículo aéreo no tripulado y la estación de tierra, para lo cual necesariamente existe una antena en el UAV y otra en tierra, esta última es una antena direccional fija, lo cual limita el rango de operatividad del UAV a tan solo un kilómetro, además el movimiento de la nave produce pérdidas del enlace. Por tanto si se quiere ampliar el rango de operatividad se necesita un sistema de apuntamiento de antenas, que permita establecer comunicación punto a punto (PTP), esto es que la antena de tierra tenga la capacidad de movimiento en dos grados de libertad, azimut y elevación, para que siga la trayectoria del UAV y así el rango de operatividad aumente.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El proyecto UAV establece comunicación entre el vehículo aéreo no tripulado y la estación fija en tierra, para lo cual necesariamente existe una antena en el UAV y otra en tierra, esta última es una antena direccional fija, lo cual limita un rango de operatividad del UAV a tan solo un kilómetro, además el movimiento de la nave produce pérdidas del enlace. Por lo tanto es imprescindible desarrollar un método que permita ampliar el rango de operatividad, esto es mantener la comunicación entre las estaciones a por lo menos diez kilómetros.

El diseño y construcción de un sistema de apuntamiento electromecánico de antenas, soluciona este inconveniente, pues permite que la antena fija se desplace en dos grados de libertad, azimut y elevación, y al acoplarse a los sistemas electrónicos de posicionamiento automático desarrollados por el CIDFAE aumente el rango de operatividad y por ende otorgando la funcionalidad necesaria al proyecto para que se justifique la ejecución e implementación en el desarrollo de la Seguridad Nacional y de la Investigación.

Desde el punto de vista económico, adquirir equipos de este tipo en el extranjero, resulta extremadamente elevado, además de que la seguridad y soberanía nacional se verían limitadas a la capacidad de desarrollo tecnológico de la empresa a quien se le adjudicase el proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir el sistema de apuntador electromecánico de antenas para ampliar el rango de operatividad del proyecto UAV del centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir la estructura mecánica del apuntador electromecánico de antenas acorde a los requerimientos del CIDFAE.
- Implementar el sistema de movimiento en azimut del apuntador electromecánico de antenas.
- Implementar el sistema de movimiento en elevación del apuntador electromecánico de antenas.
- Implementar los sistemas eléctricos y electrónicos de control posición de acuerdo a los requerimientos del CIDFAE.
- Diseñar e implementar la interfaz HMI para probar el funcionamiento en azimut y elevación del apuntador electromecánico de antenas.
- Ampliar el rango de operatividad entre el UAV y la estación fija en tierra a por lo menos diez kilómetros.

CONTENIDO

CAPÍTULO I

Describe los fundamentos teóricos necesarios para entender el funcionamiento del apuntador electromecánico de antenas, además de una breve descripción de los elementos a utilizarse en el proyecto.

CAPÍTULO II

Comprende el diseño y selección de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos involucrados en el proyecto, justificados debidamente de manera clara y acorde a normas vigentes en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

CAPÍTULO III

Establece la construcción y montaje de los materiales seleccionados en el capítulo anterior, de manera sistemática, empezando lógicamente por la estructura mecánica donde se montarán los equipos eléctricos y electrónicos.

CAPÍTULO IV

Corresponde a las pruebas individuales y en conjunto de todos los elementos del sistema de apuntamiento, tanto en la parte mecánica como eléctrica, siendo parte fundamental el comprobar que se aumentó el rango de operatividad visual del UAV.

CAPÍTULO V

Al concluir este proyecto se plantearán resultados, conclusiones y recomendaciones que determinarán el éxito del proyecto en función de los objetivos planteados en el presente documento.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para entender la importancia del sistema de apuntamiento de antenas es necesario tener claro el funcionamiento del vehículo aéreo no tripulado (UAV) y el área en que se está aplicando, además de los elementos que lo conforman, tanto en la parte mecánica, cómo eléctrica y electrónica, por ende el capítulo describe de manera clara conceptos y definiciones fundamentales en función de un versátil panorama del proyecto al lector.

1.1 HISTORIA DE LOS UAV

“El alto número de pilotos que han perecido durante misiones del tipo de rastreo de enemigos en la segunda guerra mundial ha alentado la idea de utilizar vehículos no tripulados. Algunos países han invertido grandes presupuestos en la investigación de UAV, principalmente Estados Unidos, Israel, algunos países de la Unión Europea y Japón.

Durante la guerra de Vietnam, el ejército estadounidense utilizó UAV, para localizar plataformas de lanzamiento de misiles soviéticos. Con el desarrollo y miniaturización de las tecnologías, el interés en estos vehículos dentro de la armada estadounidense creció de manera considerable. Así, comenzaron a verse como dispositivos baratos que ayudarían en combate, sin el riesgo de pérdidas humanas. Las primeras generaciones de UAV fueron hechas inicialmente para la supervisión y vigilancia, aunque algunos fueron equipados con armamento (como el MQ-1 Predator, el cual utilizaba misiles aire-tierra). ”¹ Además a los UAV armados, se les conoce como

¹ ESCAMILLA Núñez, Rafael. Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV). Tesis (Ingeniero e Automatización y Control), México DF, México, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2010. 2 p.

vehículos de combate aéreo no tripulados, (UCAV en inglés: Unmanned Combat Aerial Vehicles).

Para ilustrar lo anterior, se puede citar la guerra del golfo (1991), donde la armada estadounidense utilizó uno de estos para tareas de vigilancia tanto a la luz del día como por la noche; este vehículo se encargaba de recabar información de objetivos hostiles.

En nuestro país el CIDFAE es pionero en la creación del UAV, enfocándose en la investigación, desarrollo militar, independencia tecnológica, prevención de desastres naturales, sobre todo en la seguridad y soberanía nacional.

1.2 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV)

El término UAV es la abreviación de la denominación inglesa Unmanned Aerial Vehicle, o vehículo aéreo no tripulado. Son aeronaves capaces de volar sin necesidad de un piloto humano a bordo que las controle. Pueden ser remotamente controlados o volar de forma autónoma basada en planes de vuelo previamente programados. ^[1]



Figura 1. 1 UAV Pioneer en misión de vigilancia sobre Irak

En la actualidad los UAV son utilizados en el ámbito militar, por ejemplo en misiones de reconocimiento y ataque a blancos militares. También se utilizan, aunque en menor grado, en aplicaciones civiles tales como la inspección de incendios, monitoreo de eventos políticos y reconocimiento de desastres naturales. ^[1]

1.2.1 Aplicaciones militares

La cualidad más importante de los UAV es el vuelo no tripulado. Esta característica esencial permite evitar cualquier posible riesgo para el piloto, notablemente en el dominio militar como en misiones en áreas hostiles, así como en misiones en las que se demande una importante carga y daño psicológico para el piloto: acceso a altas altitudes o vigilancia repetitiva. ^[1] Los avances tecnológicos ayudan para ampliar el rango de aplicaciones de los sistemas autónomos: en acciones militares, de vigilancia y seguimiento de posiciones enemigas, creando enlaces de comunicación entre estaciones terrestres para el intercambio de información. Las aplicaciones de los UAV militares pueden dividirse en tres categorías principales ^[1]:

- Patrullaje y reconocimiento
- Apoyo al combate
- Combate ^[1]

1.2.2 Aplicaciones civiles

“Comparados con los UAV militares, los UAV civiles no tienen el mismo desarrollo que han tenido sus similares militares. No obstante, poseen un buen potencial, debido a su versatilidad y flexibilidad de operación. Existe un amplio rango de aplicaciones potenciales para los vehículos no tripulados civiles, especialmente en misiones con características peligrosas o rutinarias. De la misma manera que en el dominio militar, los ejemplos de aplicación se pueden clasificar en diferentes categorías”²:

a. Investigación científica

² ESCAMILLA Núñez, Rafael. Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV). Tesis (Ingeniero e Automatización y Control), México DF, México, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2010. 4 p.

- Estudio de la atmosfera, la tierra y el océano
 - Estudio del agua
 - Cartografía
- b. Apoyo a desastres**
- Detección de fuego en incendios
 - Búsqueda y rescate
- c. Vigilancia civil**
- Supervisión marítima (puertos, tráfico de drogas, inmigración ilegal)
 - Vigilancia urbana ^[1]

1.2.3 Clasificación de los UAV

Uno de los criterios mediante los cuales se puede clasificar a los UAV es de acuerdo a su altitud/rango como se muestra a continuación:

- Handheld: 600m de altitud en un rango de 2Km.
- Close: 1500m de altitud en un rango superior a los 10Km.
- Nato: 3000m de altitud en un rango superior a los 50Km.
- Tactical: 5500m de altitud en un rango de hasta 160Km.
- Male: 9000m de altitud en un rango de hasta 200Km.
- Hale: 99Km de altitud con un rango indefinido.
- De altitud o altitud suborbital con un rango superior a los 200Km
- Orbital: en orbitas bajas terrestres (Mach 25+). ^[1]



Figura 1. 2 UAV Close de las Fuerzas Armadas de USA.

1.3 ANTENAS

“Antena es un elemento o aquella parte de un sistema de recepción o transmisión diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas en el espacio libre, de tal manera que una antena receptora es aquella que transforma la energía electromagnética en energía eléctrica y se puede representar mediante un generador con una impedancia interna.”³ En referencia al proyecto UAV, una antena está ubicada en la aeronave y otra en una estación en tierra y es precisamente en este punto donde se presentan los problemas de comunicación, para lo cual se desarrollará el apuntador electromecánico de antenas.



Figura 1. 3 Sistema de apuntamiento de antenas en Manta.

³ CARRERA Flores, Fausto. y CUVI Constante, Christian. Diseño e implementación de un sistema de control de posición en azimut y elevación para la obtención de características de radiación de antenas usando la cámara anecoica. Tesis (Ingeniero en electrónica). Quito, Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército, 2012. 31 p

1.3.1 Características de las antenas

Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda, de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas se denominan elementales, si tienen dimensiones del orden de media longitud de onda se llaman resonantes, y si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda son directivas. [2] En general, las antenas se caracterizan por:

- Los patrones de radiación: omnidireccional o direccional.
- La ganancia medida en decibelios. [3]

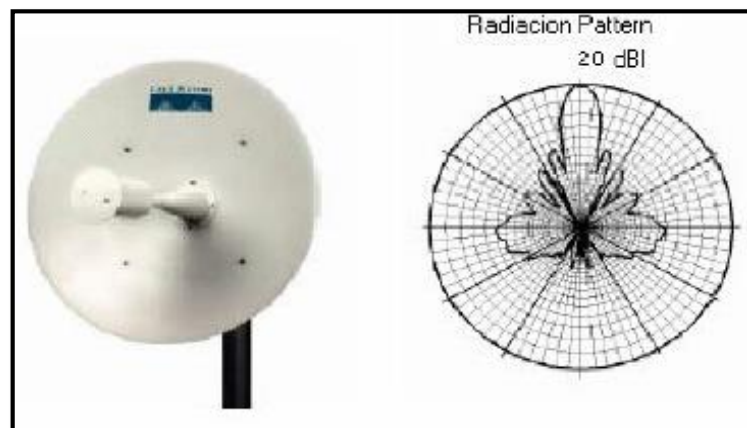


Figura 1. 4 Antena parabólica de 20dBi, alcance de 10km a 2Mb/s

1.3.2 Tipos de antenas

Las clasificaciones de las antenas pueden atender a numerosos criterios, siendo los principales por su ubicación y por la forma del lóbulo de emisión de la radiación.

Atendiendo a la ubicación, las antenas pueden ser de interiores o de exteriores. En las primeras prima el volumen pequeño, la estética y no suelen ser de gran potencia, en las segundas es su robustez frente al medio. [2]

- a. **Antenas direccionales.-** Una antena Direccional proporciona un patrón de radiación muy fuerte en una dirección específica, pueden ser: Antenas Yagi, de Patch y Parabólica. [3]

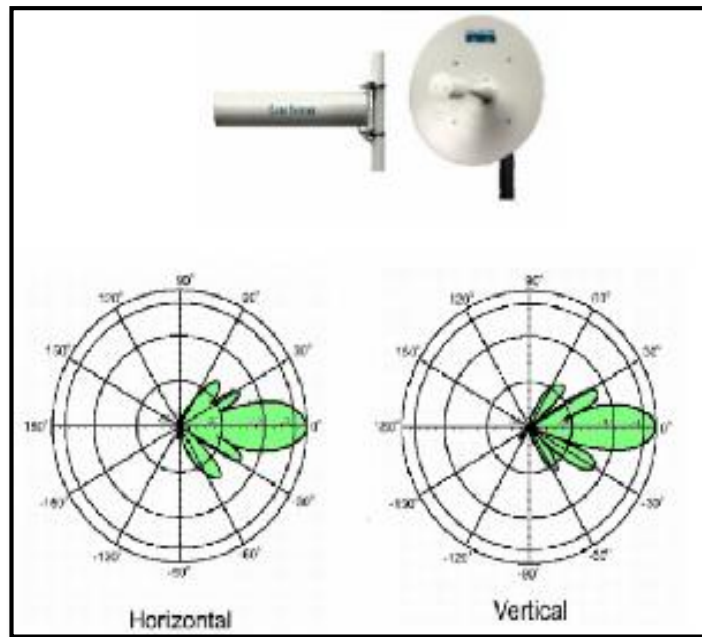


Figura 1. 5 Área de cobertura de una antena direccional.

“Las antenas direccionales emiten la señal hacia un punto en concreto, por lo cual su alcance es mayor, sin embargo fuera de la zona de cobertura no se "escucha" nada, no se puede establecer comunicación entre los interlocutores.”⁴

Los tipos de antena con los que se complementará el apuntador son direccionales tipo parabólica, por cuanto lo que se busca es direccionar la señal hacia el UAV y mejorar la cobertura.

⁴ JARA Quintana, Alonso. *Prototipo de Antena Inteligente automatizada para coberturas IEEE 802.11 b/g*. [en línea]. México 2011 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: < <http://es.scribd.com/doc/64129103/PLAN-de-TESIS-Antenas-Inteligente> >

1.4 MECANISMO DE APUNTAMIENTO DE ANTENAS (APM)

“El mecanismo de apuntamiento es el encargado de mover la antena para apuntar el haz. Está formado por la estructura de soporte del reflector, el mecanismo de tracción, mecanismo codificador de la dirección y el mecanismo de protección en el lanzamiento.”⁵

Existen varios tipos de estructura de soporte: el soporte montado sobre dos ejes, el pivote flexible y la estructura de tres segmentos.

La primera de ellas posee una plataforma que sujeta al reflector y está dotada de un movimiento de rotación sobre dos ejes ortogonales. La siguiente figura muestra dicha estructura: ^[4]

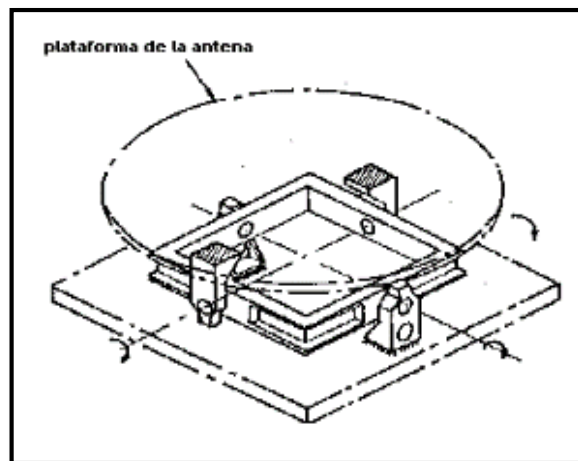


Figura 1. 6 APM con soporte montado sobre dos ejes

Se puede clasificar el mecanismo de apuntamiento de la antena según su sistema de tracción en dos tipos: el tipo directo y el tipo indirecto. Básicamente, el APM consta únicamente de motores o de motores con reductores de velocidad. ^[4]

⁵ OSORIO Ávila, Fernando. y ANDRADE Sigüenza, Edwin. Sistemas Satelitales. Tesina (Ingeniero en electrónica). Quito, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana, 2006. 53 p

1.4.1 Sistema de tracción directo.

La plataforma que sostiene a la antena está montada sobre el pivote flexible que se encuentra en el centro del sistema de apuntamiento y puede ser inclinada en cualquier dirección gracias a los motores lineales electromagnéticos instalados en las cuatro esquinas. [4]

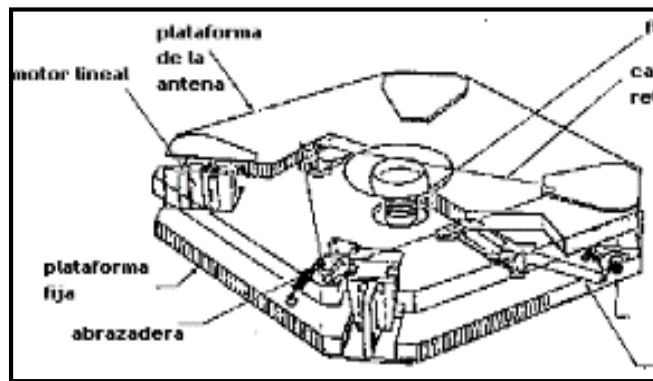


Figura 1. 7 APM con motores lineales y pivote flexible.

1.4.2 El sistema de tracción indirecta.

Está formado por un motor eléctrico y un reductor de velocidad de alta resolución. Esta configuración posee una gran eficiencia y exactitud porque se tienen contactos puntuales entre las bolas móviles y las caras de la tuerca y del eje. [4]

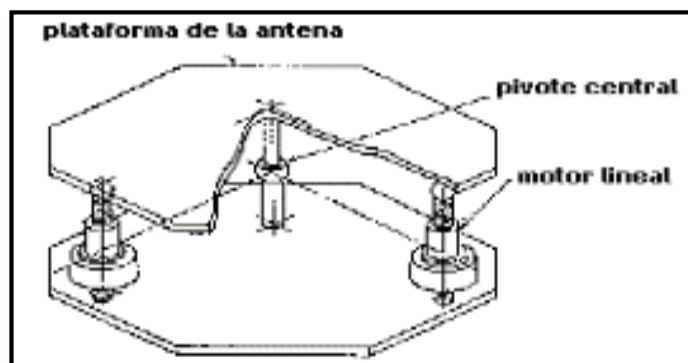


Figura 1. 8 APM con motores lineales.

1.5 MOVIMIENTO EN AZIMUT - MOTORES PASO A PASO

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .^[5]

El movimiento en azimut se lo realizará mediante este tipo de motor, aprovechando sus prestaciones en cuanto a torque y control que posee, además de que su aplicación en este tipo de sistemas es bastante común.



Figura 1. 9 Motor paso a paso bipolar.

1.5.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento básico de los motores paso a paso consiste en alimentar solo algunas de las bobinas del estator con corriente continua generando un flujo con una dirección fija, que al interactuar con el rotor del motor produce un par en función del ángulo de desfasaje de la posición de equilibrio, que depende de del tipo de motor paso a paso empleado. Para producir el movimiento de rotación la bobina excitada debe cambiar a medida que el rotor llega a la posición de equilibrio.^[5]

1.5.2 Tipos de motores paso a paso

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

- a. **Bipolar:** “Estos tienen generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Será necesario un Puente-H por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), se deben usar dos Puentes-H. En general es recomendable el uso de Puentes-H integrados como son los casos del L293B (ver figura 1.11).⁶

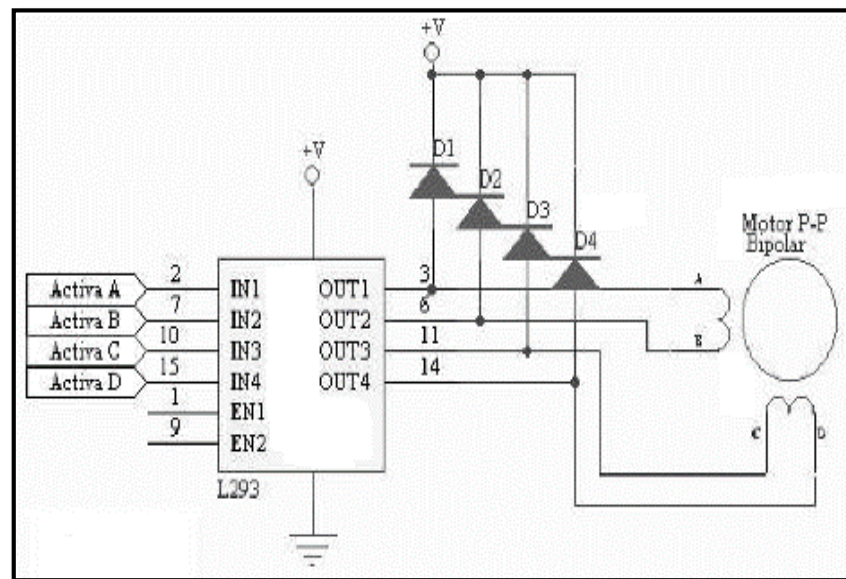


Figura 1. 10 Puente-H Integrado controlando un motor P-P bipolar.

⁶ Todo Robot. *Tutorial sobre Motores Paso a Paso*. [en línea]. Argentina 2010 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: < <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm> >

b. Unipolar: Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexión interna. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. En la figura 1.12 se puede apreciar un ejemplo de conexionado para controlar un motor paso a paso unipolar mediante el uso de un ULN2803, el cual es un arreglo de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas de hasta 500mA. Las entradas de activación (Activa A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por un micro-controlador. [5]

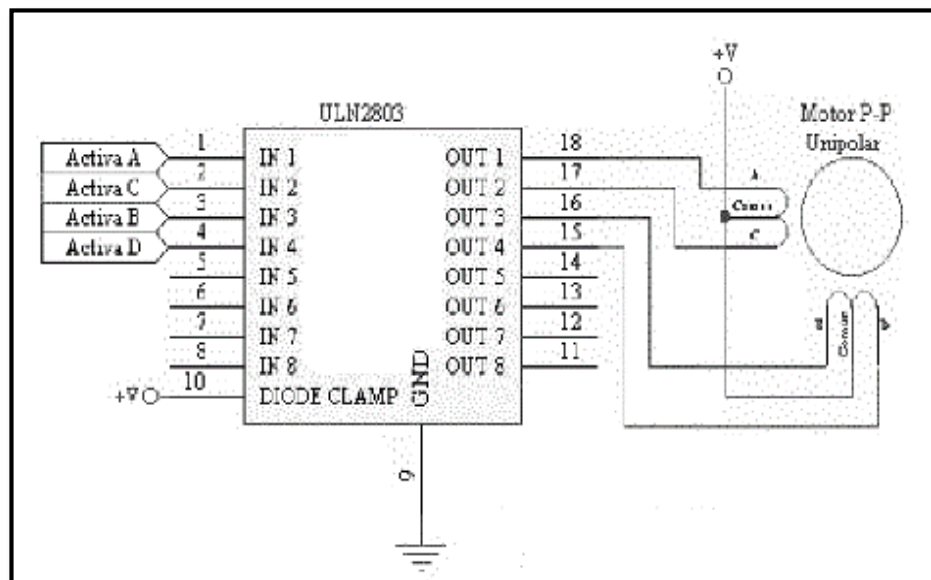


Figura 1. 11 Puentes-H Integrados controlando un motor P- P unipolar.

1.5.3 Secuencias para manejar motores paso a paso Bipolares

Como se dijo anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida.

A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Bipolares: [5]

Tabla 1. 1 Secuencia para controlar motores P-P bipolares

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- O puede llegar a girar en sentido opuesto. ^[5]

“Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. El giro en reversa debería también ser realizado previamente bajando la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.”⁷

⁷ Todo Robot. *Tutorial sobre Motores Paso a Paso*. [en línea]. Argentina 2010 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: < <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm> >

1.6 MOVIMIENTO EN ELEVACIÓN - ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina neumático, hidráulico o eléctrico. ^[6]

1.6.1 Tipos de actuadores

“El actuador más común es el actuador manual o humano. Es decir, una persona mueve o actúa un dispositivo para promover su funcionamiento. Con el tiempo, se hizo conveniente automatizar la actuación de dispositivos, por lo que diferentes dispositivos hicieron su aparición. Actualmente hay básicamente dos tipos de actuadores.”⁸

- Lineales
- Rotatorios

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico. Hay tres tipos de actuadores: ^[6]

- Neumáticos
- Eléctricos
- Hidráulicos

⁸ QUEZADA Cantuña, Ana. Automatización del control de presión del horno de fundición para disminuir los desperdicios en la producción de lingotes de aluminio en la empresa CEDAL en la ciudad de Latacunga. Tesis (Ingeniero en mecatrónica). Latacunga, Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ingeniería Mecatrónica, 2011. 42 p

El CIDFAE posee actuadores lineales eléctricos, que permiten el control de posición del émbolo, por lo cual han sugerido la utilización del mismo para el movimiento en elevación del apuntador de antenas.

1.6.2 Actuadores Eléctricos.

Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en lo que a procesos de control de posición se refiere por su versatilidad en el trabajo. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes: ^[6]

- Motores de corriente continua (DC). Servomotores
- Motores paso a paso
- Motores de corriente alterna (AC)

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador. Como su nombre lo explica generan una trayectoria recta, mediante el desplazamiento positivo o negativo del émbolo. ^[6] La ventaja de este tipo de actuador es el control de posición fino que se le puede realizar para el movimiento en elevación de la antena.

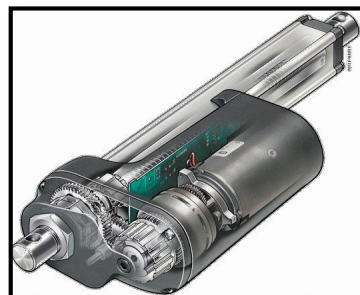


Figura 1. 12 Actuador lineal eléctrico.

1.7 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO MECÁNICO

“Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Es una forma de intercambiar energía mecánica distinta a las transmisiones neumáticas o hidráulicas, ya que para ejercer su función emplea el movimiento de cuerpos sólidos, como lo son los engranajes y las correas de transmisión. En general, las transmisiones reducen una rotación inadecuada, de alta velocidad y bajo par motor, del eje de salida del impulsor primario a una velocidad más baja con par de giro más alto, o a la inversa.”⁹

1.7.1 Tipos de transmisión

Entre las formas más habituales de transmisión están:

- Barras en mecanismos articulados como el cuadrilátero articulado o el mecanismo de biela-manivela.
- cables, la mayoría únicamente funcionan a tracción, aunque hay cables especiales para transmitir otro tipo de esfuerzos.
- Engranajes.
- Ruedas de fricción, que transmiten movimiento perimetral, como las ruedas de un vehículo.
- Discos de fricción, que transmiten movimiento axial
- Chavetas y ejes nervados.
- Juntas cardán y juntas homocinéticas.
- Levas.^[7]

⁹ MATHEU Aguilar, Humberto. Elaboración de un software para el dimensionamiento y el cálculo de parámetros para la construcción de mecanismos dentados. Tesis (Ingeniero en electromecánica) Latacunga, Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército, 2000. 105 p

1.7.2 Engranajes

Se denomina engranaje o ruedas dentadas al mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales la mayor se denomina corona y el menor piñón.^[1]

a. Engranajes cónicos de dientes rectos

Efectúan la transmisión de movimiento de ejes que se cortan en un mismo plano, generalmente en ángulo recto aunque no es el único ángulo pues puede variar dicho ángulo como por ejemplo 45, 60, 70, etc., por medio de superficies cónicas dentadas. Los dientes convergen en el punto de intersección de los ejes. Son utilizados para efectuar reducción de velocidad con ejes en 90°; estos engranajes generan más ruido que los engranajes cónicos helicoidales.^[7]



Figura 1. 13 Engranajes cónicos de dientes rectos

b. Engranajes cónicos helicoidales

“Se utilizan para reducir la velocidad en un eje de 90°. La diferencia con el cónico recto es que posee una mayor superficie de contacto.

Es de un funcionamiento relativamente silencioso. Además pueden transmitir el movimiento de ejes que se corten. Se mecanizan en fresadoras especiales, en la actualidad Se utilizan en las transmisiones posteriores de camiones y automóviles.”¹⁰



Figura 1. 14 Engranajes cónicos helicoidales

c. Engranaje cónico hipoide

Un engranaje hipoide es un grupo de engranajes cónicos helicoidales formados por un piñón reductor de pocos dientes y una rueda de muchos dientes, que se instala principalmente en los vehículos industriales que tienen la tracción en los ejes traseros. La disposición helicoidal del dentado permite un mayor contacto de los dientes del piñón con los de la corona, obteniéndose mayor robustez en la transmisión. Su mecanizado es muy complicado y se utilizan para ello máquinas talladoras especiales. [7]

¹⁰ MATHEU Aguilar, Humberto. Elaboración de un software para el dimensionamiento y el cálculo de parámetros para la construcción de mecanismos dentados. Tesis (Ingeniero en electromecánica). Latacunga, Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército, 2000. 107 p

1.8 SOFTWARE ANSYS

“ANSYS es un software de simulación de ingeniería. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos. En 2008, el National Institute of Standards and Technology de Estados Unidos utilizó ANSYS para modelar los acontecimientos que llevaron al inicio del desplome del edificio World Trade Center durante los atentados del 11 de septiembre de 2001.”¹¹

1.8.1 Características

a. Integrado

Permite la asociación de distintas tecnologías para el desarrollo de un producto sin abandonar una única plataforma. Además su integración permite la asociación con los software más avanzados CAD. Su sistema de integración permite incluirse sin dificultad en sistemas de documentación propios de cada empresa. ^[8]

b. Modular

ANSYS permite que los clientes instalen una única aplicación para la solución de un problema específico. A medida que el usuario avanza en la solución, este puede necesitar análisis más complejos, hasta llegar al proceso de validación. Los distintos módulos de ANSYS permiten solucionar los problemas por partes. ^[8]

c. Extensible

ANSYS propone "aplicaciones verticales" o adaptaciones más específicas según las requiera el cliente. Estas adaptaciones

¹¹ ARIZA Moreno, Pilar y SÁENZ Pérez, Andrés. Método de los elementos finitos. Introducción a ANSYS. Monografía (Ingeniero mecánico) Sevilla, España, Universidad de Sevilla. 2009. 66p

pueden automatizar procesos que realiza normalmente un cliente hasta aplicaciones más complejas que se adaptan a determinados sectores industriales.

1.8.2 Proceso típico de realización de un cálculo

a. Pre-proceso

“Establecimiento del modelo, se construye la geometría del problema, creando líneas, áreas o volúmenes. Sobre este modelo se establecerá la malla de elementos. Se definen los materiales a ser usados en base a sus constantes. Todo elemento debe tener asignado un material particular. Generación de la malla, realizando una aproximación discreta del problema en base a puntos o nodos. Estos nodos se conectan para formar elementos finitos que juntos forman el volumen del material”.¹²

b. Proceso

Aplicación de cargas, Se aplican condiciones de borde en los nodos y elementos, se puede manejar valores de fuerza, tracción, desplazamiento, momento o rotación.

Obtención de la solución, que se obtiene una vez que todos los valores del problema son ya conocidos.^[8]

c. Post-proceso

- Visualización de resultados, por ejemplo como dibujo de la geometría deformada del problema. Listado de resultados, igualmente como datos en una tabla.^[8]

¹² ARIZA Moreno, Pilar y SÁENZ Pérez, Andrés. Método de los elementos finitos. Introducción a ANSYS. Monografía (Ingeniero mecánico) Sevilla, España, Universidad de Sevilla. 2009. 68p

1.9 SOFTWARE SOLIDWORKS

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Es un modelador de sólidos paramétrico. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, CATIA, y Autodesk Mechanical Desktop.^[9]

“El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.”¹³

La empresa SolidWorks Corp. fue fundada en 1993 por Jon Hirschtick con su sede en Concord, Massachusetts y lanzó su primer producto, SolidWorks 95, en 1995. En 1997 Dassault Systèmes, mejor conocida por su software CAD CATIA, adquirió la compañía. Actualmente posee el 100% de sus acciones y es liderada por Jeff Ray.^[9]



Figura 1. 15 Logo SolidWorks

¹³ GÓMEZ Gonzalez, Sergio. El gran libro de SolidWorks Office Professional. 1ª edición, Marcombo S.A., México 2007. 22 p

1.10 INTERFACE HOMBRE-MAQUINA (H.M.I)

1.10.1 Introducción al H.M.I.

“Cuando los seres humanos y los computadores interactúan lo hacen a través de un medio o interface hombre – máquina, que se define como HMI y que es el punto en el que seres humanos y computadores se ponen en contacto, transmitiéndose mutuamente tanto información, órdenes y datos como sensaciones, intuiciones y nuevas formas de ver las cosas.” ¹⁴



Figura 1. 16 Equipos HMI Simatic

1.10.2 Diseño de interface para hacer H.M.I.

Para realizar la comunicación directa con una máquina o un proceso (H.M.I.) se lo hace ya sea mediante un pulsador, interruptor, etc., es decir de diferentes formas con el fin de cumplir el objetivo de la comunicación. ^[10]

1.10.3 Modelos

Existen tres puntos de vista distintos en una HMI: el del usuario, el del programador y el del diseñador, cada uno tiene un modelo mental propio

¹⁴ MULLO Quevedo, Álvaro. y Noroña Heredia, Marcelo. Control y monitoreo de los sistemas HVAC y nivel de líquidos mediante panel view 600 a través de una red serial. Tesis (Ingeniero en electromecánica) Latacunga, Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército, 2007. 32p

de la interfaz, que contiene los conceptos y expectativas acerca de la interface, desarrollados a través de su experiencia.

a. Modelo del usuario

La pantalla de interface debe permitir que el operario pueda distinguir todos los equipos a controlar y tenga en la pantalla iconos o botones que permitan la interacción directa con la máquina de manera clara. Para ello se usan iconos de escritorio y gráficas del proceso industrial. ^[10]

b. Modelo del programador

El programador es el encargado de manejar la base de datos. Estas acciones deben ser escondidas al operador. El programador hace el desarrollo del sistema operativo, esto también implica que debe ofrecer al operario pantallas en las cuales este pueda trabajar mediante modelos adecuados. ^[10]

c. Modelo del diseñador

El diseñador mezcla las necesidades, ideas, deseos del usuario y los materiales de que dispone el programador para diseñar un producto de software. El modelo del diseñador describe los objetos que utiliza el usuario, su presentación y las técnicas de interacción para su manipulación. El modelo tiene tres partes: Presentación, Interacción y relaciones entre los objetos. ^[10]

1.11 SOFTWARE LABVIEW

1.11.1 ¿Qué es el LabView?

El LabView es un programa para el desarrollo de aplicaciones de propósitos generales, tales como el C, el Basic, el Pascal que será utilizado para realizar la interface HMI de este proyecto.

1.11.2 Ambiente de Desarrollo

Todo ambiente de desarrollo testa formado por los siguientes elementos. Es importante que se busque y se practiquen con frecuencia ya que esto permite que el desarrollo de las aplicaciones se realice con mayor rapidez y calidad. ^[11]

a. Depuración

- Puntos de ruptura.
- Ejecución paso a paso.
- Ventana de seguimiento a variables

b. Facilidades de desarrollo

- Panel frontal: Para observar el estado de las pantallas que estamos desarrollando.
- Paletas de funciones y controles para adicionar a nuestro proyecto.
- Herramientas para alinear los controles y funciones.

1.11.3 Lenguaje de Programación.

“LabView usa el lenguaje de programación gráfico Lenguaje G. Las posibilidades son normalmente las mismas que presenta cualquier lenguaje de programación Algo muy característico de LabView es su extensa biblioteca de funciones. Los programas en LabView son llamados Instrumentos Virtuales, son guardados con la extensión .VI.” ¹⁵ Además constan de un panel frontal y un diagrama de bloques. En el panel frontal se diseña la interfaz con el usuario, viene a ser la cara del VI y en el diagrama de bloques se programa en lenguaje G el funcionamiento del VI.

¹⁵ MORENO Vega, Valery. y FERNÁNDEZ Prieto, Adel. Programación en LabView. Programación en lenguaje G. La Habana, Cuba. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, 2005. 18 p

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN

Los materiales, componentes y equipos que comprenden la construcción del Sistema de Apuntamiento Electromecánico de Antenas deben cumplir los requerimientos del CIDFAE y concordancia con las especificaciones de seguridad y calidad vigentes, por tanto el presente capítulo detalla el criterio de diseño y selección de cada elemento, de manera muy sencilla y con el empleo de plataformas tecnológicas modernas.

2.1 DISEÑO MECÁNICO

Comprende netamente la estructura mecánica del apuntador de antenas, donde irá montada la antena direccional, con ello el mecanismo de movimiento en azimut y elevación, además de la estructura de soporte y desplazamiento para distancias cortas del apuntador.

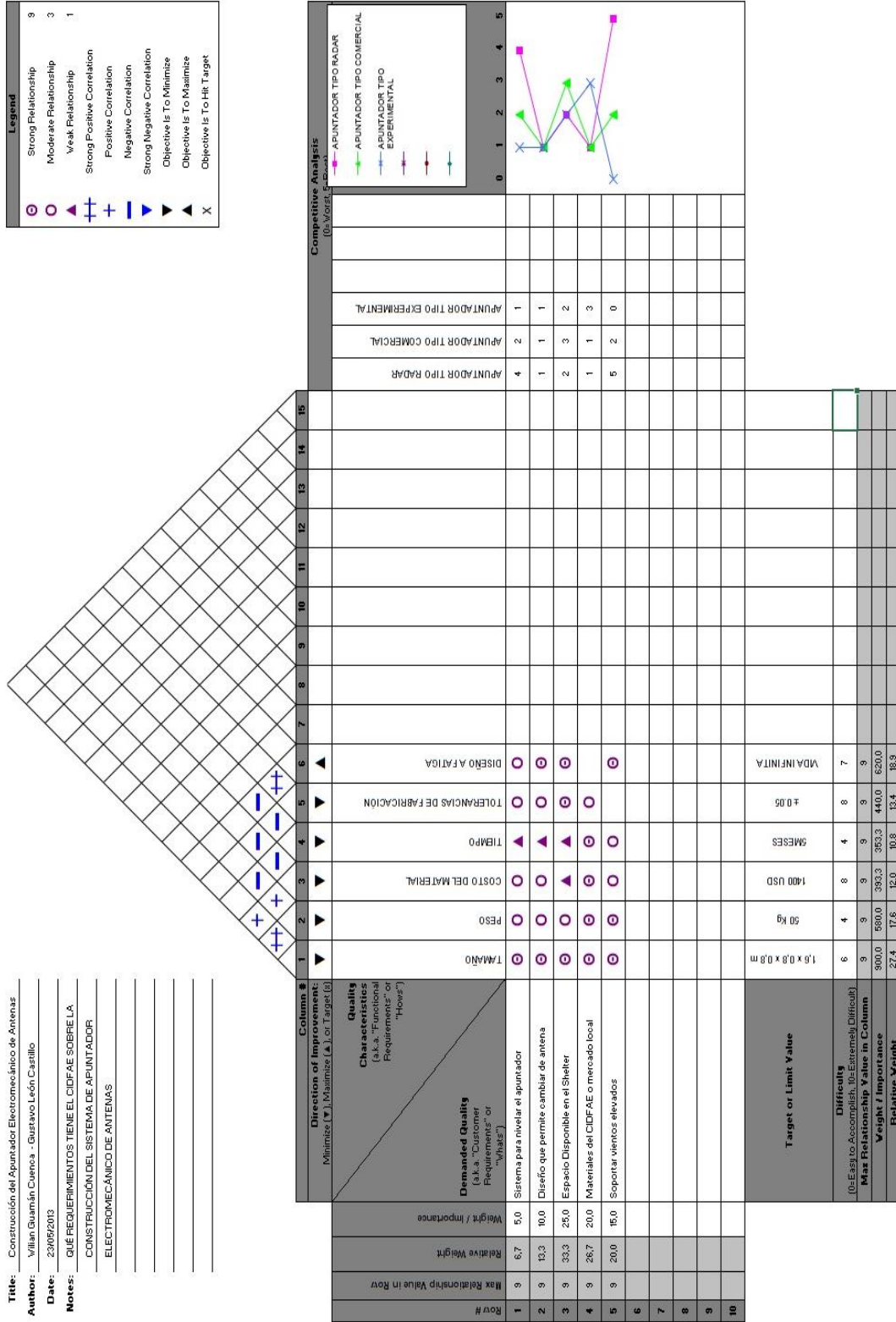
2.1.1 Criterios de Diseño.

Es fundamental el factor experiencia en muchos casos de diseño de máquinas, por esto se acude a diseños similares de sistemas de apuntamiento. Se emplea ingeniería inversa, esto es revisar lo que ya está hecho para establecer mejoras o cambios que determinen mayor eficiencia, basados en el funcionamiento del Apuntador de Antenas de la Marina en la base aérea de Manta y de apuntadores existentes en el mercado internacional, se plantearon las siguientes posibilidades, que serán analizadas para determinar la que se ajuste mejor a los requerimientos del CIDFAE, por medio de la función calidad (QFD) o casa de la calidad, que es un método de gestión de calidad basado en transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño, implementar las funciones que aporten más calidad, e implementar métodos para lograr calidad del diseño en subsistemas y componentes, y en última instancia a los elementos específicos del proceso de fabricación.

a. Requerimientos del CIDFAE

- El transporte a largas distancias del apuntador electromecánico de antenas se hará a través del vehículo de comunicaciones (Shelter), donde existe un espacio disponible para el efecto de 1,6 x 0,8 x 0,8 metros.
- El apuntador electromecánico de antenas debe ser diseñado de tal forma que otra antena sea acoplada sin problema, para aplicaciones similares en el futuro.
- El transporte a cortas distancias del apuntador electromecánico de antenas debe ser sencillo y versátil, de manera que pueda detenerse trasladarse fácilmente.
- El Apuntador electromecánico de antenas debe incorporar un mecanismo para nivelarlo en situaciones de suelos irregulares.
- Los materiales empleados en la construcción mecánica del proyecto deben proceder del centro de abastecimientos del CIDFAE o del mercado local, de preferencia en la provincia de Tungurahua para incentivar la producción nacional.
- Se deberán utilizar en la medida de lo posible para el diseño y montaje los elementos de control eléctricos y electrónicos disponibles en el centro de abastecimientos del CIDFAE, con el fin de abaratar costos.
- El Apuntador electromecánico de antenas deberá soportar vientos elevados de acuerdo a las estadísticas del CIDFAE, INHAMI o INOCAR.
- El movimiento en elevación deberá ser desde 0 hasta 90 grados con respecto a lo horizontal, tomando como punto de referencia el centro de la antena.
- El apuntador electromecánico de antenas deberá tener su respectivo manual de operación y mantenimiento.

b. Casa de la Calidad



c. Modelo 1, TIPO RADAR

El modelo plantea el movimiento en azimut con un motor en posición vertical y el de elevación por medio de un actuador lineal colocado en la parte superior de la estructura, además de un pivote en el centro de la antena. El movimiento en azimut es indefinido, su aplicación es justamente la aeronáutica, sin embargo la complejidad radica en la alimentación y control del sistema mediante de juntas rotativas, para evitar que se enreden los cables.



Figura 2. 1 Apuntador de antenas de la Marina en Manta

d. Modelo 2, TIPO COMERCIAL

Este modelo existe en el mercado internacional pero su aplicación es doméstica en cuanto al trabajo que desempeña, puesto que rota a velocidades muy bajas, su diseño es algo complejo en cuanto al acoplamiento de dos motores en una misma carcasa, uno para azimut y otro para elevación, además el mecanismo está restringido a una determinada cantidad de vueltas en azimut.



Figura 2. 2 Apuntador de antenas comercial RF HAMEDESIGN

e. Modelo 3, TIPO EXPERIMENTAL

La tesis “Diseño e implementación de un sistema de control de posición en azimut y elevación para la obtención de características de radiación de antenas usando la cámara anecoica.”, desarrollada por los estudiantes Fausto Gonzalo Carrera Flores y Christian Enrique Cuvi Constante de la carrera de Ingeniería Electrónica, Automatización y Control de la ESPE, plantea un prototipo para controlar el movimiento en azimut y elevación de la cámara, sin embargo al analizar la estructura se determina que la aplicación se limita a elementos de peso relativamente bajo.

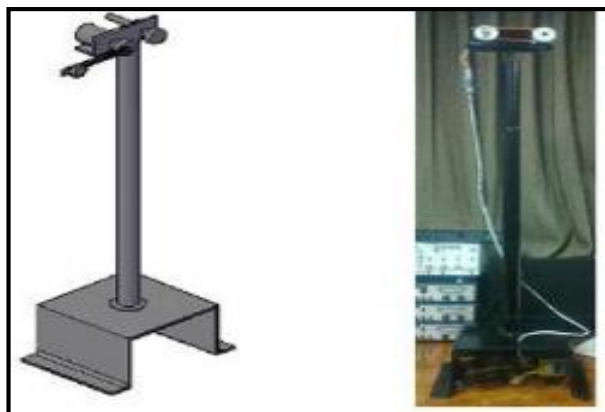


Figura 2. 3 Prototipo para movimiento de la cámara anecoica

2.1.2 Selección del Modelo a implementar

Tabla 2. 1 Ponderación de alternativas del Apuntador de Antenas

<i>FP</i>	Alternativas Parámetros	Apuntador Tipo Radar	Apuntador Tipo Comercial	Apuntador Tipo Experimental
0.15	Tamaño	0.25 5	0.25 7	0.25 6
0.15	Peso	0.15 5	0.15 7	0.15 8
0.15	Precio	0.15 5	0.15 6	0.15 9
0.15	Material utilizado disponible en el CIDFAE	0.25 9	0.25 7	0.25 8
0.05	Mecanismo de nivelación del Apuntador	0.1 9	0.1 7	0.1 6
0.05	Tiempo de Realización del Apuntador	0.1 6	0.1 7	0.1 9
0.15	Movimiento en elevación de 0 a 90 grados de la antena	0.1 10	0.1 3	0.1 1
0.15	Movimiento en azimut de la antena Teko Telecom	0.1 10	0.1 4	0.1 1
1.0	TOTAL	59/100	48/100	48/100

Una vez analizado cada modelo de acuerdo a la tabla de ponderación, se ha determinado que el sistema óptimo es el Tipo Radar, por su aplicación en la aeronáutica, sin embargo el problema de la comunicación mediante

juntas rotativas es bastante complejo, debido a que no existe en el mercado local estos dispositivos, por lo que se ha planteado pre-programar el movimiento en azimut de la antena a un determinado número de vueltas y así evitar que los cables se enreden.

a. Bosquejo del Apuntador Electromecánico de Antenas

En función del análisis previo, se bosqueja un diseño tentativo la forma ideal del apuntador electromecánico de antenas, sin considerar todavía los esfuerzos y momentos que se presentarán al trabajar, es un método netamente empírico, que permite tener una idea clara de lo que se quiere hacer y cómo debería funcionar el mecanismo, la figura 2.4 muestra las partes que comprenderían el sistema del Apuntador Electromecánico de Antenas.

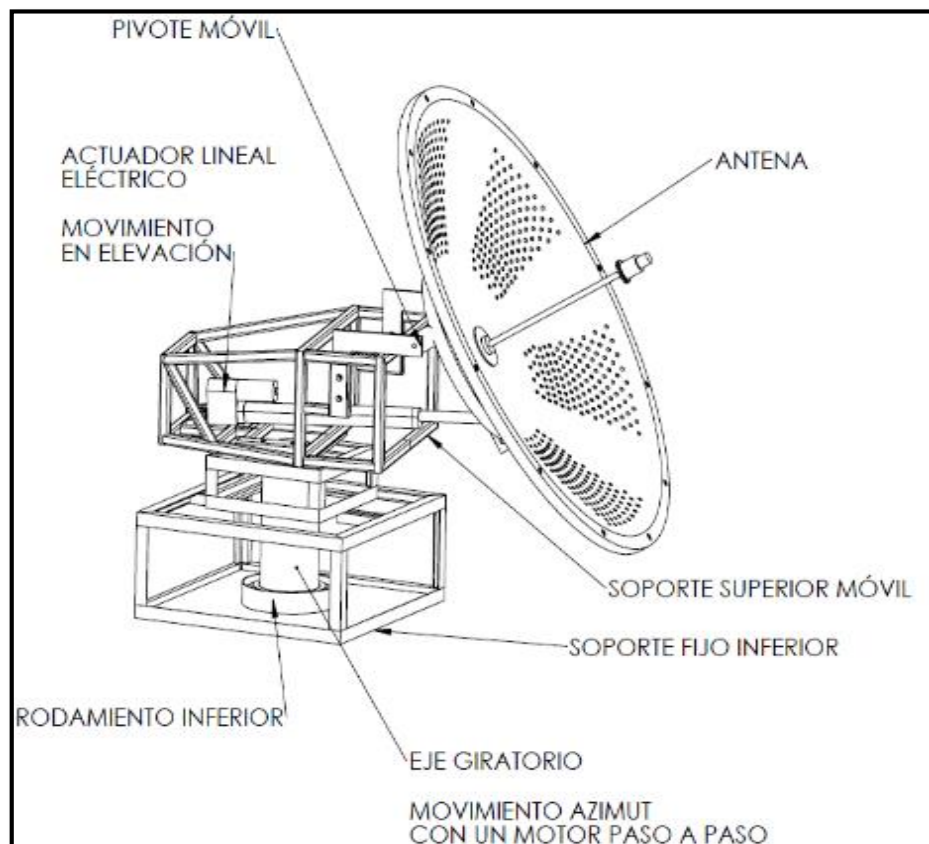


Figura 2. 4 Bosquejo del apuntador de antenas a tentativo.

b. Condiciones Meteorológicas

El apuntador electromecánico de antenas será utilizado en misiones dentro y fuera de la provincia de Tungurahua y regularmente a la intemperie, por tanto es imprescindible su diseño considere las condiciones meteorológicas, en especial la velocidad del viento a la que será expuesto el mecanismo. En la región Sierra se tiene un registro de altas velocidades de viento y bajas temperaturas, mientras que en la región costa se tiene velocidades de viento medias, y altas temperaturas, para el presente estudio se considera las peores condiciones según los registros de la siguiente tabla.

Tabla 2. 2 Velocidad del viento promedio en el Ecuador¹⁶

Región	Velocidad de Viento (m/s)		Temperatura °C	
Sierra	Máximo	20	Máxima	23
	Medio	16,4	Media	15
	Mínimo	6	Mínima	5
Costa	Máximo	14,8	Máxima	32
	Medio	7,4	Media	25
	Mínimo	1	Mínima	20

Los datos de las condiciones climáticas se obtuvieron de los datos del anuario meteorológico 2009 y de los registros del INAMHI en los años 1995 a 2006. (Ver Anexo A).

Además se contrastó la información con los registros del INOCAR, correspondientes al mes de agosto del 2012, garantizando la fiabilidad de los datos.

¹⁶ INAMHI. *Anuario Meteorológico 2010*. [en línea]: Quito 2012 Dirección de Gestión Meteorológica, Procesamiento y Edición SIGIHM. Quito 2012. [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: <<http://www.inamhi.gob.ec/index.php/clima/anuarios-meteorologicos/204-anuario-meteorologico-2010>>

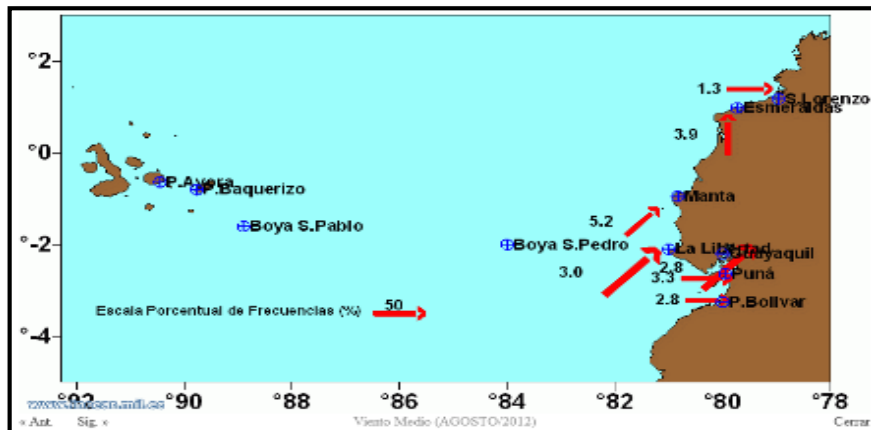


Figura 2. 5 Frecuencias de tiempo y velocidad media, agosto 2012¹⁷

Por tanto la velocidad máxima del viento considerada para el diseño se podría considerar 20 m/s con un factor de sobrecarga del 1.5, tomando como patrón de diseño la resistencia al viento de la antena TEKO TELECOM P008L que es de 33,3 m/s; suponiendo una condición extrema a la que pueda verse expuesto el apuntador electromecánico de antenas.

2.1.3 Selección del material

Las condiciones climáticas de lluvia y humedad alteran las propiedades del material en que será construido el apuntador; en principio se consideró utilizar acero inoxidable para toda la estructura, sin embargo el costo resulta elevado, por tanto se utilizará acero estructural ASTM A36 y se le dará tratamiento de pintura especial para evitar la corrosión, únicamente las uniones antena - estructura superior y el árbol de transmisión serán de acero inoxidable AISI 316 para garantizar que no se oxide al contacto con un material diferente. El acero en mención está disponible en el mercado local, cumpliendo con los requerimientos del CIDFAE.

¹⁷ INOCAR. *Frecuencias de viento predominante y velocidad media*. [en línea]: Guayaquil 2012 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: < <http://www.inocar.mil.ec/links.php?C=2&S=2&SbS=1&idC=1> >

a. Acero ASTM A36 en la estructura del apuntador

Es el más usado por la industria ecuatoriana; resultado de la composición de elementos químicos, siendo el más importante el hierro y el de menos presencia el carbón, facilitando su moldeo. La estructura del apuntador electromecánico de antenas será construida en su mayoría de este material, a continuación se muestran sus propiedades.

Tabla 2. 3 Propiedades del Acero ASTM A36

Propiedad	Valor	Unidades
Densidad	7,85	g/cm ³
Límite de fluencia	32-36 (250-280)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	58-80 (400-550)	Ksi (MPa)
% de elongación mínimo	20 (8)	%

b. Acero Inoxidable AISI 316 en la unión estructura - antena

Es el más versátil y uno de los más usados. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado, no requiere recocido tras la soldadura para condiciones corrosivas. El árbol de transmisión y la unión entre la antena y la estructura serán de este material.

Tabla 2. 4 Propiedades del Acero Inoxidable AISI 316¹⁸

Propiedad	Valor	Unidades
Densidad	7.96	g/cm ³
Límite de fluencia	30 (206)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	74 (510)	Ksi (MPa)
% de elongación mínimo	40	% (50mm)

¹⁸ GAMBOA Poveda, Edison. y ÁLVAREZ Martínez, Robinson. *Acero inoxidable 316 y 316L, propiedades y características físico – químicas*. [en línea]: Colombia 2012 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: < <http://materialesfull.wikispaces.com/file/view/ACERO..pdf> >

2.1.4 Características de la antena para el proyecto UAV

Como se explica en los requerimientos del CIDFAE, el apuntador electromecánico de antenas, debe tener la capacidad de adaptarse a otra antena para proyectos similares, a continuación las características la antena patrón:

a. Antena Parabólica TEKO TELECOM P008L

Compuesta de aluminio anodizado, unido a un poste de soporte recubierto con zinc de acero inoxidable. Es altamente recomendado para frecuencias entre 1 y 14 GHz.

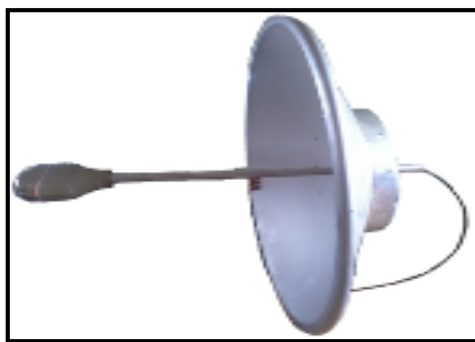


Figura 2. 6 Antena Parabólica TEKO TELECOM P008L

Tabla 2. 5 Características Eléctricas de la antena TEKO TELECOM ¹⁹

Illuminatore / Radiator		
Frequenza / Frequency	MHz	1900+2400
Polarizzazioni / Polarisations		1
Apertura a 3dB / 3dB Beamwidth	gradi degrees	±4.5
Connettore / Connector		N (f)
ROS / VSWR		≤1.28
Attenuazione di riflessione / Return Loss	dB	≥18
Guadagno / Gain	dB	26.0

¹⁹ TEKO TELECOM. *Antenne paraboliche Parabolic antennas*. [en línea]: Bologna 2010 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: <<http://www.broadcastpartners.nl/website/uploads/files/products/41501.pdf>>

Tabla 2. 6 Características Mecánicas de la antena TEKO TELECOM

Propiedad	Unidades	Valor
Diámetro	mm	1200
Espesos de la antena	mm	3
Superficie máx. expuesta al viento	m ²	1,15
Resistencia al viento	Km/h	120
Peso de la antena completa con soportes	kg	30

Con las características mecánicas y dimensiones se modelará en SolidWorks la antena TEKO TELECOM, con el fin de que el diseño del apuntador se adapte a esta.

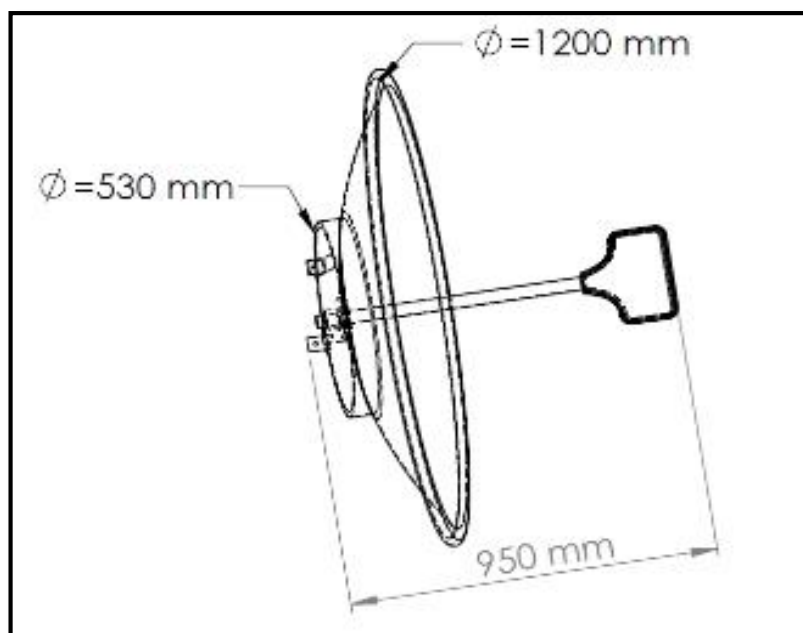


Figura 2. 7 Modelado de antena Parabólica TEKO TELECOM P008L

Al no considerar el peso de los soportes y anclajes, se debió pesar nuevamente con el fin de obtener datos reales, en la siguiente tabla se detallan los datos más relevantes obtenidos, con respecto al diseño mecánico del apuntador:

Tabla 2. 7 Características de la antena para el diseño mecánico

CARACTERÍSTICAS	TEKO TELECOM P008L
Peso (Kg)	12
Diámetro (cm)	120
Resistencia al viento(m/s)	33.33 m/s
Material	Aluminio anodizado

2.1.5 Componentes del apuntador electromecánico de antenas

El apuntador electromecánico de antenas está constituido de siete partes fundamentales, mostrados en la siguiente figura:

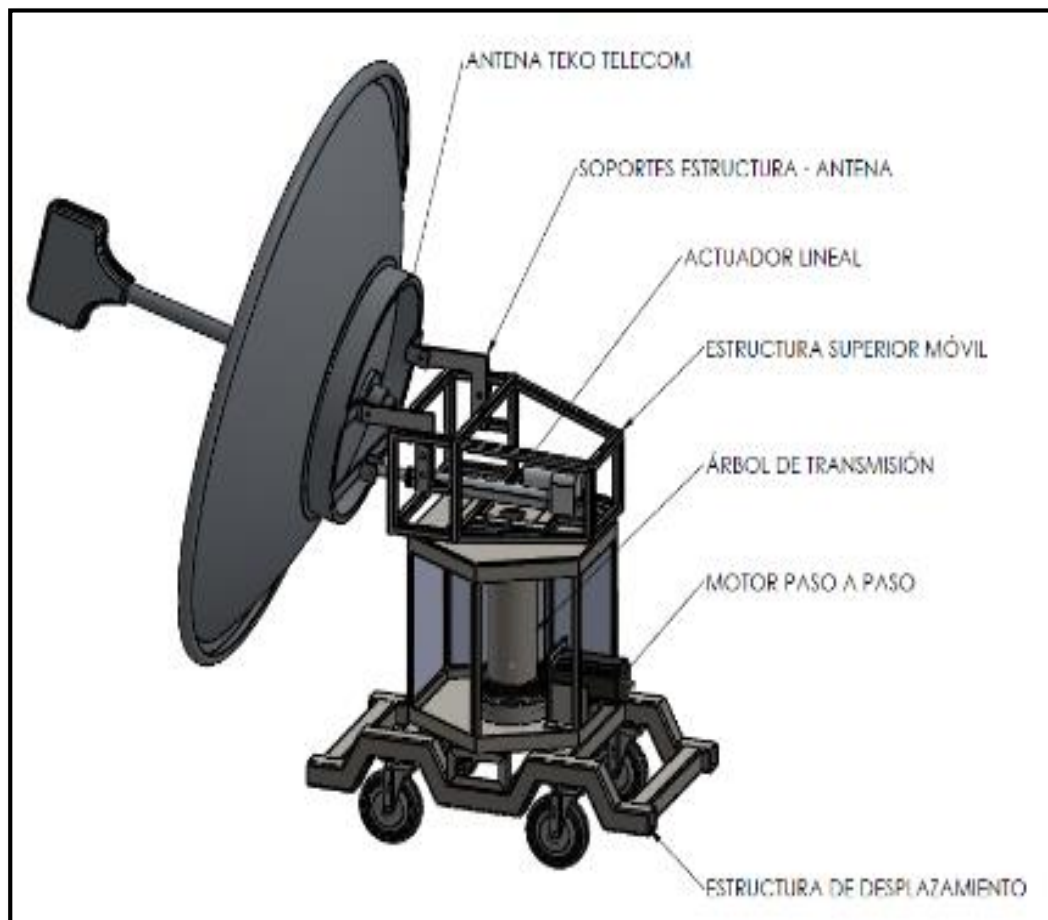


Figura 2. 8 Componentes del apuntador de antenas

2.1.6 Diseño y selección del árbol de transmisión

Los árboles de transmisión, además de sostener los elementos giratorios transmiten momentos torsores, por consiguiente, los árboles resultan cargados, no solo por esfuerzos normales debido a los momentos flectores, sino también, por esfuerzos tangenciales generados por momentos torsores, en toda la longitud o en sectores aislados del árbol.

El diseño implica un estudio estático y dinámico del sistema mediante software considerando el trabajo al que será sometido el árbol de transmisión, por esto es clave mencionar que las misiones de vuelo del proyecto UAV, no superan las 2 horas, de acuerdo a las estadísticas del CIDFAE (VER ANEXO C), además actualmente se realizan tres misiones por semana máximo.

Es fundamental establecer el tipo de cargas a las que se verá sometido el árbol de transmisión y determinar su magnitud, por tanto se clasificaron las cargas de la siguiente manera:

a. Cargas debido al viento (Cargas Vivas)

La presión del viento origina una presión dinámica dada por la fórmula:

$$P_v = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g} \quad \text{Expresada en Kg/m}^2 \quad \text{Ec. 2.1}$$

Dónde:

$\gamma = 1,2 \text{ kg/ m}^2$ (densidad media del aire).

$v =$ velocidad del viento en m/s (20 m/s con sobrecarga 50%)

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (aceleración de la gravedad)

$$P_v = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g} = \frac{1,2 \cdot (30)^2}{2(9.81)} = 55.05 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_v = 55.05 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * 9 * 81 \text{ N/Kg} = 540 \text{ Pa}$$

La presión dinámica del viento multiplicada por el área que presenta la antena (más grande) al viento será la carga de la antena ejercida sobre el árbol de transmisión (Q_v).

$$Q_v = P_v * A_{\text{antena}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Dónde:

P_v = Momento de la antena. [Nm]

Q_v = Carga de la antena sobre el árbol de transmisión. [N]

$$Q_v = 55,05 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * 1,15 \text{m}^2 * 9,81 \frac{\text{N}}{\text{Kg}}$$

$$Q_v = 621 \text{ N}$$

El momento flector que origina la antena por efectos del viento en el extremo inferior del árbol de transmisión será:

$$M_a = Q_v * L \quad \text{Ec. 2.3}$$

Dónde:

M_a = Momento de la antena. [Nm].

L = Longitud en metros desde el punto de anclaje de la antena al extremo inferior del árbol de transmisión. [m]

$$M_a = Q_v * L = (621) \text{N} * 0.5 \text{m}$$

$$M_a = 310.5 \text{ Nm}$$

Además la presión ejercida por el viento sobre el área de una cara de la estructura en un instante de tiempo, se constituirá en una carga distribuida sobre el árbol de transmisión (Q_s) dada por:

$$Q_s = P_v \cdot A_{ei}$$

Ec. 2.4

Dónde:

Q_s = carga distribuida resultante. [N/m]

A_{ei} = área sometida al viento en ese instante. [m²]

$$Q_s = P_v \cdot A = 55,05 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \cdot 1,24 \text{m}^2 + 9,81 \frac{\text{N}}{\text{Kg}} = 669,65 \text{ N}$$

$$Q_s = \frac{669,65 \text{ N}}{1,8 \text{m}} = 371,66 \text{ N/m} \approx 372 \text{N/m}$$

b. Cargas debido al sistema de transmisión (Cargas Vivas)

La transmisión se realizará mediante engranajes cónicos rectos, debido a la ventaja que presentan en sistemas donde los ejes forman 90°, puesto que el motor está en posición horizontal y el árbol de transmisión en posición vertical. La relación de transmisión (n) es de 4, disminuyendo la velocidad del motor y aumentando el torque. El criterio de selección supone un motor con torque de 9,1 Nm, obtenido del catálogo de motores paso a paso de la LIN Engineering, empresa a través de la cual se adquieren los equipos electrónicos del CIDFAE.

Por lo tanto:

$$T_t = T_m \cdot n$$

Ec. 2.5

Dónde:

T_t = Torque generado en el árbol de transmisión. [Nm]

T_m = Torque del motor. [Nm]

n = Relación de transmisión

$$T_t = T_m \cdot n = 9,1 \text{Nm} \cdot 4$$

$$T_t = 36,4 \text{Nm}$$

c. Cargas debido al peso de los componentes (Cargas Muertas)

El árbol de transmisión deberá soportar el peso de la estructura superior y sus componentes, es decir el actuador lineal, la antena en una posición a 90° sobre el horizonte, los rodamientos, etc. Por lo tanto todo esto generará una carga axial (F) directa en el extremo superior del árbol.

La sumatoria de todas las masas colocadas en la estructura superior, da como resultado 50 libras, a lo que se le aumentará un 100% por seguridad y suponiendo una ampliación de los componentes en el futuro.

$$F = m \cdot g \quad \text{Ec. 2.6}$$

Dónde:

m = masa de la estructura superior, [Kg]

g = gravedad, [m/s²]

$$F = 100 \text{ lb} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{2.22 \text{ lb}} \cdot 9.81 \text{ N/kgf}$$

$$F = 445 \text{ N}$$

Con respecto al momento flector (Ms) que genera el peso de la antena (Qa) en el extremo superior del árbol de transmisión, se toma en consideración la antena patrón (TEKO TELECOM) y por criterio de diseño, apoyados en la experiencia del personal del CIDFAE se le aumentará el 100%. Es decir se diseñará el árbol para soportar 2 veces más el peso original, en función de ampliar la utilidad para antenas de mayor peso en el futuro.

$$Qa = (m_{\text{antena}} + 100\%) \cdot g \quad \text{Ec. 2.7}$$

Dónde:

m = masa de la antena, [Kg]

$g = \text{gravedad, [m/s}^2\text{]}$

$Q_a = (12+12)\text{kg} * 9,81\text{N/1kgf}$

$Q_a = 24 * 9.81 = 235.44 \text{ N}$

$M_s = Q_a * L$

Ec. 2.8

Dónde:

$Q_a = \text{Carga de la antena. [N]}$

$L = \text{Longitud en metros desde el centro de árbol de transmisión hasta el extremo del émbolo en posición extendida. [m]}$

$M_s = 235.44\text{N} * 0.45\text{m}$

$M_s = 105.948 \approx 106 \text{ Nm}$

d. Diagrama de fuerzas cortantes y Momentos Flectores

El diagrama de fuerzas cortantes nos permite distinguir la fuerza cortante máxima que actúa sobre el árbol de transmisión, producto de las reacciones en los puntos de apoyo (cojinetes de rodamientos), mientras que el diagrama de momentos flectores, permite observar el efecto que producen los momentos y el punto crítico donde se ve afectado el árbol, además de distinguir el momento flector máximo, ambos factores fundamentales en el diseño del árbol de transmisión en función de un factor de seguridad de al menos 5, recomendado por el CIDFAE, debido a aplicación militar del apuntador.

Tabla 2. 8 Cargas aplicadas al árbol de transmisión

Tipo de carga	Magnitud	Unidad	Designación	Distancia
Momento flector en el extremo inferior del árbol.	310.5	Nm	Ma	0 m

Momento flector en el extremo superior del árbol.	106	Nm	Ms	0.42 m
Momento torsor producto de la transmisión.	36,4	Nm	T	0.06 m
Carga axial producto del peso de los componentes.	445	N	F	0.42 m
Carga distribuida.	372	N/m	Qs	0.2m

La figura muestra las cargas que se ejercen directamente sobre el árbol de transmisión, determinadas previamente en el diseño del árbol, graficados mediante el software MdSolids 3.1 a fin de facilitar los cálculos.

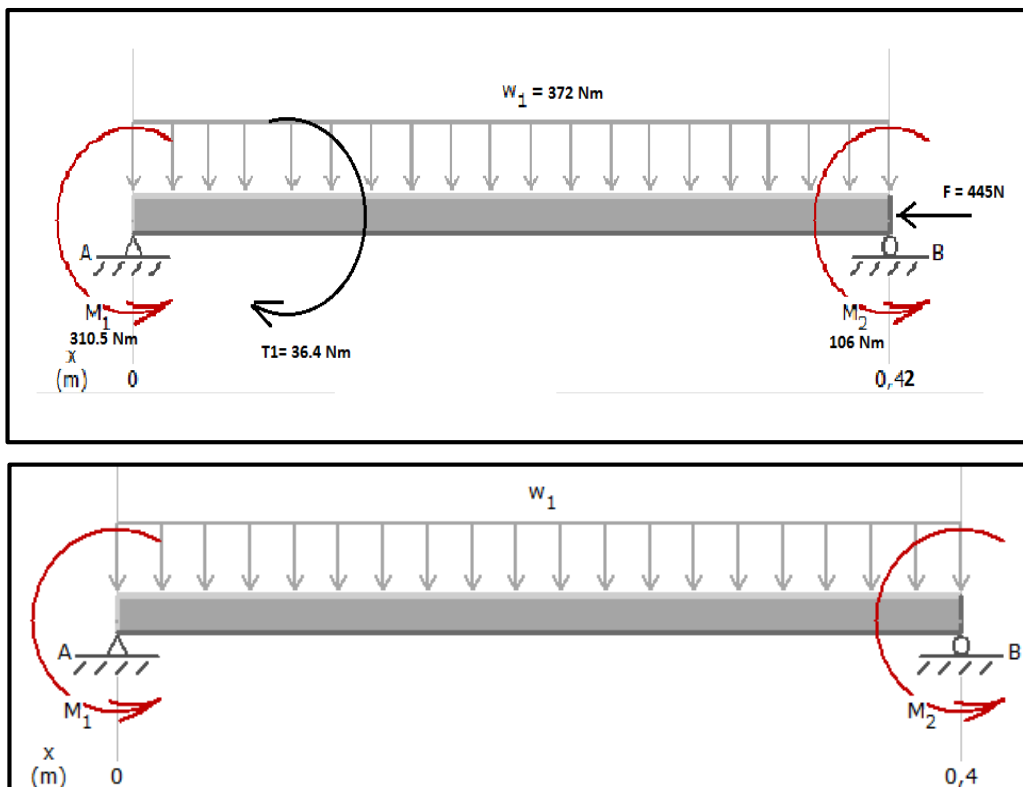


Figura 2. 9 Cargas que afectan el árbol de transmisión



Figura 2. 10 Diagrama de fuerzas cortantes del árbol

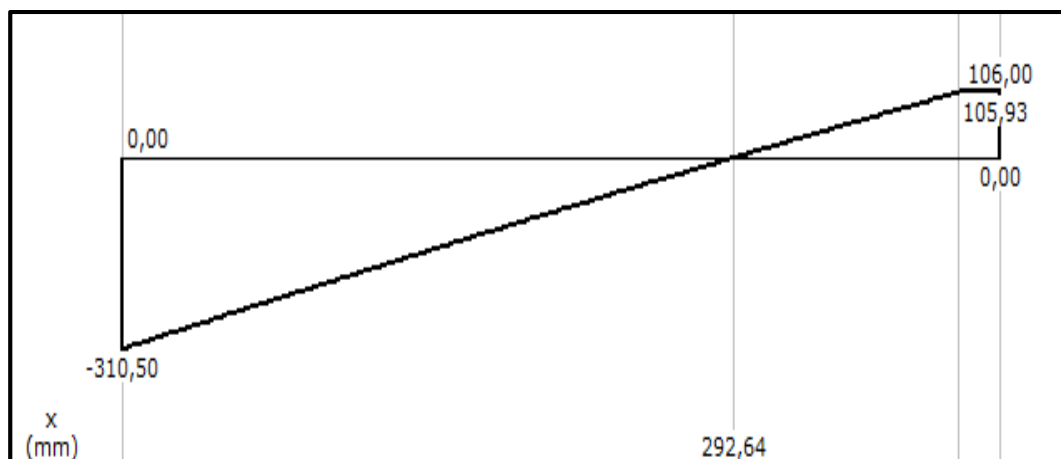


Figura 2. 11 Diagrama de momentos flectores del árbol

De aquí se obtienen el esfuerzo cortante máximo (V), siendo 1115.46 N y el momento flector máximo (M), siendo 310.5 Nm.

e. Diámetro del árbol de transmisión

Atendiendo los requerimientos del CIDFAE, se busca en el mercado local, el material idóneo para el árbol de transmisión, y comprobar si sus especificaciones cumplen con los criterios de esfuerzos máximos. Así se parte por un tubo redondo de acero Inoxidable

Cedula 40, de 3 pulgadas, cuyas características se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2. 9 Características del tubo redondo cédula 40 ²⁰

Diámetro		Espesor		Peso	
Nominal	Exterior		e	Kg/m	
	mm	pulg	mm		
3"	76.2	3	4	0.25	11.29

$$\sigma_{axial} = \frac{A_x}{A} = \frac{Ax}{\frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)}{4}} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Dónde:

A_x = carga axial máxima aplicada al árbol. [N]

D_e = diámetro exterior del tubo. [m]

D_i = diámetro interior del tubo. [m]

$$\sigma_{axial} = \frac{445 \text{ N}}{\frac{\pi(0.0762^2 - 0.0682^2)m^2}{4}}$$

$$\sigma_{axial} = 0.491 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{flexión} = \frac{M}{\delta} = \frac{M}{\frac{\pi}{32} \left(\frac{D_e^4 - D_i^4}{D_i} \right)} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Dónde:

²⁰ SCRIBD, Luis Velasco. *Catálogo DIPAC*. [en línea]: Ambato 2012 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/35443893/catalogo-acero-dipac>>

M = momento flector máx. [Nm]

δ = momento polar de inercia de un cilindro hueco

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{310.5 \text{ Nm}}{\frac{\pi}{32} \left(\frac{0.0762^4 - 0.0682^4}{0.0682} \right) \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = 17.854 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{corte}} = \frac{4V}{3A} = \frac{4V}{3 \frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)}{4}} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Dónde:

V = esfuerzo cortante máximo

A = área del tubo. [m²]

$$\tau_{\text{corte}} = \frac{4 \cdot 1116 \text{ N}}{3 \frac{\pi(0.0762^2 - 0.0682^2)}{4}} = 1.640 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{torsión}} = \frac{T \cdot r}{I_0} = \frac{T \cdot r}{\frac{\pi}{32}(D_e^4 - D_i^4)} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Dónde:

T = momento torsor máximo. [Nm]

r = radio de giro. [m]

I₀ = momento de inercia de un cilindro hueco.

$$\tau_{\text{torsión}} = \frac{36.4 \text{ Nm} \cdot 0.0381 \text{ m}}{\frac{\pi}{32} (0.0762^4 - 0.0682^4)} = 1.169 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = \sigma_{\text{axial}} + \sigma_{\text{flexión}} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Dónde:

σ_x = esfuerzo combinado axial

$$\sigma_x = (0.491 + 17.854) = 18.345 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{\text{corte}} + \tau_{\text{torsión}}$$

Ec. 2.14

Dónde:

τ_{xy} = esfuerzo combinado de torsión

$$\tau_{xy} = (1.640 + 1.169) = 2.809 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 2.15

Dónde:

$\tau_{\text{máx}}$ = esfuerzo máximo que soporta el árbol

$$\tau_{\text{máx}} = \sqrt{\left(\frac{18.345}{2}\right)^2 + 2.809^2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 9.592 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{S_y}{2 \cdot \tau_{\text{máx}}}$$

Ec. 2.16

Dónde:

FS = esfuerzo máximo que soporta el árbol

S_y = Límite máximo de fluencia, [MPa]

$$FS = \frac{207 \text{ MPa}}{2 \cdot 9.592 \text{ MPa}} = 10.78$$

El factor de seguridad para el árbol de transmisión de tubo mecánico seleccionado es 10.78, por tanto está dentro de los requerimientos del CIDFAE, con esto se garantiza que el árbol de transmisión del apuntador electromecánico de antenas soporte cargas superiores a las de diseño sin inconvenientes, sin embargo se debe tomar en cuenta que se requieren cojinetes en los extremos superior e inferior para evitar vibraciones, estabilizar el árbol y eliminar cualquier posibilidad de pandeo, estos deberán ser seleccionados y verificar que cumplan con un tiempo de vida útil relativamente largo.

2.1.7 Selección de los cojinetes de rodamientos

A diferencia de otros cálculos de elementos de máquinas, los cojinetes de rodamiento se seleccionan considerando la vida útil que se desea que tengan. Esto significa que la vida infinita no es posible de alcanzar y se debe pensar que los rodamientos son elementos de desgaste que deben ser reemplazados periódicamente para evitar daños al mecanismo en el cual están montados. Este reemplazo se realiza bajo el concepto de mantención preventiva, en donde el rodamiento es reemplazado justo antes de que falle. La falla debe entenderse como un grado de desgaste tal que provoca vibraciones en el eje, apreciables auditivamente por un zumbido característico.



Figura 2. 12 Rodamiento de rodillos cónicos axial

a. Tipo de rodamiento para el árbol de transmisión

En función de las cargas mixtas existentes en el árbol de transmisión se determina el uso de rodamientos axiales de rodillos cónicos que están diseñados para resistir cargas en la misma dirección del eje y radiales, esto debido al peso de los componentes y a la torsión ejercida por el sistema de transmisión de movimiento cono - corona.

b. Vida útil de rodamiento para el árbol de transmisión

El cálculo de la vida útil es dependiente del rodamiento en particular, esto lo convierte en un cálculo iterativo en el cual se escoge un rodamiento y se comprueba su vida útil, si el resultado es satisfactorio, la selección ha terminado, pero si la vida es menor o muy mayor de lo recomendado debe escogerse otro rodamiento y recalcular la vida. En el particular caso del árbol de transmisión del apuntador de antenas, se sugiere una vida útil (L10h) de 12000 horas de servicio, tomando como fuente la tabla 2.9.

Tabla 2. 10 Guía de valores requeridos de vida nominal L10h^[12]

Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos : Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente : Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 1 2000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas : Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas : Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrifugas.	20 000 a 30 000

Una vez ubicada la vida sugerida, se procede a escoger un rodamiento del mercado local que se adapte a las dimensiones del árbol de transmisión y soporte las cargas de diseño.

La ventaja de escoger rodamientos SKF es que mediante el software desarrollado por la empresa se facilita el cálculo de la vida útil de los rodamientos, ingresando la carga radial máxima sobre el rodamiento (F_r), carga axial máxima (F_a), velocidad de rotación en rpm, temperatura de operación, tipo de lubricante del rodamiento, orientación (horizontal o vertical), se especifica si el eje está dentro o fuera del rodamiento, la viscosidad del lubricante a 40° C, así se obtiene lo siguiente:

Designación: 42687/42620

d	76.2 mm	D	127 mm
B	30.1 mm	C	138 kN

Note: The drawing displayed is only for general representation, may not be the same as selected product variant.

Select unit system

SI

Selected calculations

Bearing life, Relubrication intervals

[remove](#)

Bearing life, Relubrication intervals

F_r kN
Radial load

F_a kN
Axial load on bearing

n_i r/min
Rotational speed of inner ring

Bearing operating temperature °C
Bearing outer ring

Lubricant type and cleanliness
Select from list

Shaft orientation
Select from list

Rotating ring
Select from list

Viscosity calculation input type
Select from list

Viscosity at 40°C mm²/s

Product data

Designation 42687/42620

d 76.2 mm

D 127 mm

B 30.1 mm

C 138 kN

Type Tapered roller bearings

[View product details](#)

Note: The drawing displayed is only for general representation, may not be the same as selected product variant.

Results

L_{10mh}	>1000000 hour
SKF rating life, operating hours	
a_{SKF}	50
SKF life modification factor a _{SKF}	
P	1.52 kN
Equivalent dynamic bearing load	
κ	0.66
Viscosity ratio	
η_c	0.709
Factor for contamination level	
v₁	110 mm ² /s
Required kinematic viscosity for κ=1	
L_{10h}	>1000000 hour
Basic rating life, operating hours	
C/P	90.8
Load ratio	

Warning

Bearing is lightly loaded. Please Contact SKF Application Engineering.

Relubrication intervals: 42687/42620

Remove this result

Results

t_f	30000 hour
Relubrication interval	
G_p	19.1 g
Grease quantity to be added when replenishing	

Como se puede verificar la vida útil del rodamiento supera fácilmente las 12000 horas ($L_{10h} \geq 1000000$ h) recomendadas y además indica que la re lubricación se debe hacer cada 30000 h, por lo tanto se escoge y adquiere en el mercado local dicho rodamiento.

a. Tipo de rodamiento para los pivotes de la antena

En función de las cargas axiales existentes en los pivotes de la unión estructura superior - antena se determina el uso de rodamientos axiales de bolas de simple efecto que pueden soportar cargas axiales en un sentido; a su vez, no resulta apropiado para operar a

elevadas velocidades. En este tipo de rodamientos, las bolas están alojadas en una jaula portabolas dispuesta entre una arandela ajustada en el alojamiento del soporte y una arandela ajustada al árbol. Es desmontable, siendo su montaje muy simple, ya que los componentes se pueden montar por separado.



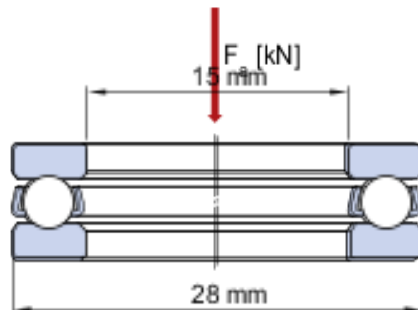
Figura 2. 13 Rodamiento de rodillos cónicos axial

b. Vida útil de rodamiento para los pivotes de la antena

El cálculo de la vida útil es dependiente del rodamiento en particular, esto lo convierte en un cálculo iterativo en el cual se escoge un rodamiento y se comprueba su vida útil, si el resultado es satisfactorio, la selección ha terminado, pero si la vida es menor o muy mayor de lo recomendado debe escogerse otro rodamiento y recalcular la vida. En el particular caso de los pivotes de la unión estructura superior - antena, se sugiere una vida útil (L_{10h}) de 12000 horas de servicio acorde a la tabla 2.9. Una vez ubicada la vida sugerida, se procede a escoger un rodamiento del mercado local que se adapte a las dimensiones de los pivotes y soporte las cargas de diseño. La ventaja fundamental de escoger rodamientos SKF es que mediante el software desarrollado por la empresa se facilita el cálculo de la vida útil de los rodamientos, ingresando la carga axial máxima sobre el rodamiento (F_a), obtenida del diseño previo en la sección 2.1.6, velocidad de rotación en rpm, temperatura de

operación, tipo de lubricante del rodamiento, orientación (horizontal o vertical), se especifica si el eje está dentro o fuera del rodamiento, la viscosidad del lubricante a 40° C, así se obtiene lo siguiente:

		Designación	51102
d	15 mm	D	28 mm
H	9 mm	C	10.6 KN



Note: The drawing displayed is only for general representation, may not be the same as selected product variant.

Bearing life, Relubrication intervals

F_a kN
Axial load on bearing

n_i r/min
Rotational speed of inner ring

Bearing operating temperature °C
Bearing outer ring

Lubricant type and cleanliness ▼
Select from list

Shaft orientation ▼
Select from list

Rotating ring ▼
Select from list

Viscosity calculation input type ▼
Select from list

Viscosity at 40°C mm²/s

Bearing life: 51102 —

[Remove this result](#)

Results

L_{10mh}	hour
SKF rating life, operating hours	
a_{SKF}	
SKF life modification factor a _{SKF}	
P	2 kN
Equivalent dynamic bearing load	
κ	
Viscosity ratio	
η_c	0
Factor for contamination level	
v₁	1410 mm ² /s
Required kinematic viscosity for κ=1	
L_{10h}	248100 hour
Basic rating life, operating hours	
C/P	5.3
Load ratio	

Relubrication intervals: 51102 —

[Remove this result](#)

Results

t_f	8820 hour
Relubrication interval	
G_p	1.26 g
Grease quantity to be added when replenishing	

Input parameters

F_a	2 kN
Axial load on bearing	
n_i	10 r/min
Rotational speed of inner ring	
Bearing operating temperature	40 °C
Bearing outer ring	
Shaft orientation	Vertical shaft
Select from list	
Rotating ring	Inner ring rotation
Select from list	

[Clear results](#)

Como se puede verificar la vida útil del rodamiento supera fácilmente las 12000 horas (L10h=248100 h) recomendadas y además indica que la re lubricación se debe hacer cada 8820 h, por lo tanto se escoge y adquiere en el mercado local dicho rodamiento.

2.1.8 Selección del Sistema de Transmisión

En función del tipo de movimiento que se requiere en este sistema, considerando que se va a utilizar un motor paso a paso, se opta por la utilización de engranajes cónicos de dientes rectos que efectúan la transmisión de movimiento de ejes que se cortan en un mismo plano, por medio de superficies cónicas dentadas. Los dientes convergen en el punto de intersección de los ejes.

El sistema de transmisión es simple, pues el movimiento es transmitido directamente entre los dos ejes, y en función de obtener una velocidad de 1.5 rpm para mejorar la resolución en el movimiento, se calcula la relación de transmisión de la siguiente manera:

$$i = n_2 / n_1 \quad \text{Ec. 2.17}$$

Dónde:

n_1 = Velocidad de giro del eje 1 (Velocidad del motor a pasos en rpm)

n_2 = Velocidad de giro del eje 2 (Velocidad deseada en rpm)

i = Relación de transmisión

$$i = 1.5 \text{ rpm} / 6.3 \text{ rpm} \approx 1/4$$

Una vez determinada la relación de transmisión, se debe seleccionar del mercado local un sistema de transmisión de engranajes cónicos de dientes rectos cuya relación de transmisión sea 1 – 4. Además se debe considerar el material de los engranajes, considerando las condiciones de trabajo del sistema de apuntador de antenas y su aplicación en el campo militar, este debe ser robusto y resistente. Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se determina el uso de acero de transmisión cementado AISI 1020 con aleación Cr Ni para los engranajes del sistema de transmisión, por su gran resistencia a la corrosión y oxidación y su dureza elevada, ideal la vida militar que tendrá el equipo. Se ha seleccionado del mercado local

el sistema de transmisión como corona de acero de transmisión Cr Ni, con 64 dientes en la corona y 16 en el cono, a continuación se verifica si cumple con la relación de transmisión requerida:

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2 \quad \text{Ec. 2.18}$$

Dónde:

n_1 = Velocidad de giro del eje 1 (Velocidad del motor a pasos en rpm)

n_2 = Velocidad de giro del eje 2 (Velocidad deseada en rpm)

Z_1 = Número de dientes del cono

Z_2 = Número de dientes de la corona

$$n_1 \cdot 16 = n_2 \cdot 64$$

$$n_1/n_2 = 16 / 64 = 1/4 \quad \text{Sí cumple con la relación de transmisión requerida.}$$

2.1.9 Selección del Motor Paso a Paso

Es fundamental entender que el motor paso a paso permite controlar la posición en azimut del apuntador electromecánico de antenas de manera bastante precisa, además de que al incorporar un sistema de transmisión 1:4 mediante engranajes cónicos rectos, el control de posición es mucho más confiable, pues por cada cuatro vueltas que dé el eje del motor, el árbol de transmisión dará apenas una. Se determinan las características que se requieren del motor para este trabajo mediante el siguiente proceso:

La selección del motor paso a paso se dimensionará en base al torque requerido para mover la antena más pesada y la velocidad angular necesaria para seguir a la aeronave en vuelo.

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{rot}} + M_{\text{load}} + T_{\text{acel}} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Dónde:

M_{motor} = Torque o momento total del motor PAP. [Nm]

M_{rot} = Momento de inercia del rotor del motor PAP. [Nm]

M_{load} = Momento de carga. [Nm]

T_{acel} = Momento de aceleración. [Nm]

A continuación se procede a calcular el momento de carga

$$M_{load} = G * r \quad \text{Ec. 2.20}$$

$$M_{fricc} = (G * r) \frac{1}{i} \quad \text{; en el lado del eje del motor} \quad \text{Ec. 2.21}$$

Dónde:

G= Peso equivalente. [N]

r= radio de giro. [m]

i= relación de transmisión

La carga dinámica equivalente en el extremo inferior del árbol de transmisión, se obtuvo sumando los pesos de los elementos en movimiento, a través de los parámetros de propiedades físicas de SolidWorks®:

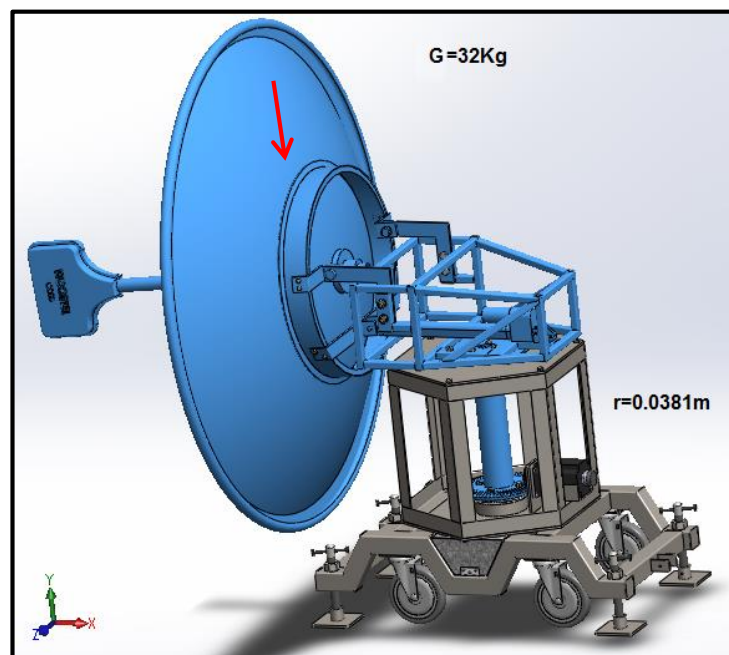


Figura 2. 14 Apuntador de antenas en SolidWorks

$$G= 32\text{Kg}$$

$$r= 0.0381\text{m}$$

$$M_{\text{load}}=(32*9.8)*0.0381$$

$$\mathbf{M_{\text{load}}=11.94 Nm}$$

Este momento referido al lado del motor paso a paso se divide para la relación de transmisión, $i=4$

$$M_{\text{fricc}}= \frac{11.94 \text{ Nm}}{i}$$

$$\mathbf{M_{\text{fricc}}=2,98 Nm}$$

A continuación se calcula el momento de aceleración como propiedad física de los cuerpos que sufren una variación rotacional.

$$T_{\text{acel}}= I_{\text{tot}} * \alpha_{\text{ap}} \quad \text{Ec. 2.22}$$

$$T_{\text{acel}}= (I_{\text{tot}} * \alpha_{\text{ap}}) \frac{1}{i^2}; \text{en el lado del motor} \quad \text{Ec. 2.23}$$

Dónde:

T_{acel} =Torque necesario para acelerar la masa. [Nm]

I_{tot} =Inercia total de los elementos giratorios. [Kgm²]

α_{ap} =aceleración angular del apuntador. [rad/s²]

$$I_{\text{tot}} = \frac{I_{\text{ap}}}{i^2} + I_{\text{rot}} \quad \text{Ec. 2.24}$$

Dónde:

I_{ap} = Inercia de los elementos en movimiento. [Kgm²]

I_{rot} = Inercia del rotor del motor PAP, dato del catálogo. [kgm²]

Al momento la inercia del rotor es desconocida, sin embargo se puede aproximar que la inercia total es la inercia de los elementos giratorios. Posterior a la elección del motor se verificará si esta inercia afecta a la selección inicial del motor PAP. La inercia total de los elementos giratorios del apuntador se obtuvieron del programa SolidWorks® que posee el CIDFAE, asignando el material específico de cada elemento giratorio, y en desconocimiento de estos valores se asignó el peso real de los componentes.

$$I_{ap} = 6,2 \text{ Kgm}^2$$

Ahora esta inercia rotacional referida al lado del motor paso a paso se divide para la relación de transmisión elevada al cuadrado, donde $i = 4$

$$I_{ap} = \frac{6,2 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2}{4^2}$$

$$I_{ap} = 0,388 \text{ Kgm}^2$$

Este momento de inercia rotacional fue tomado desde el árbol de transmisión de la estructura. La velocidad angular se obtendrá como dato a partir de la velocidad lineal con la que despega la aeronave UAV denominada “Fénix” desde la pista de aterrizaje en Ambato.

$$V_{desp} = 56 \text{ nudos}$$

Para que el sistema de apuntamiento, le siga en el instante del despegue a la aeronave en esta condición que sería la más crítica la antena necesita girar 90° en 1 segundo. La velocidad angular con la que girará el apuntador en tierra será:

$$\omega_{ap} = \frac{d\theta}{dt} \quad \text{Ec. 2.25}$$

$$\omega_{ap} = \frac{90^0}{1 \text{ s}} * \frac{\pi \text{rad}}{180^0} = 1,57 \text{ rad/s}$$

Debido que el sistema parte del reposo $\omega_o = 0$

$$\alpha_{ap} = \frac{d\omega_{ap}}{dt} \quad \text{Ec. 2.26}$$

$$\alpha_{ap} = \frac{(1,57-0) \text{ rad/s}}{0.2 \text{ s}} = 7,85 \text{ rad/s}^2$$

$$\alpha_{ap} = 7,85 \text{ rad/s}^2$$

Entonces:

$$T_{acel} \approx I_{ap} * \alpha_{ap}$$

$$T_{acel} \approx 0,388 \text{ Kgm}^2 * 7,85 \text{ rad/s}^2$$

$$T_{acel} \approx 3,04 \text{ Nm}$$

Se suman todos los momentos para estimar el momento necesario para hacer girar la estructura con las condiciones anteriormente expuestas

$$M_{motor} = M_{load} + T_{acel}$$

$$M_{motor} = 2.98 + 3.04$$

$$M_{motor} = 6.02 \text{ N*m}$$

Con este valor se debe seleccionar inicialmente un motor paso a paso en el mercado para sumar la inercia del rotor y verificar si cumple con los requerimientos.

Tabla 2. 11 Características del motor a pasos bipolar 8718L-02S²¹

A/Fase	Torque (Nm)	Inercia del Rotor (oz x in ²)	Inductancia por fase mH	Resistencia por fase $\Omega \pm 10\%$	Peso Lbs.
1.4	9.10	21.9	78.1	7.5	8.44

Como se puede observar la inercia del rotor del motor paso a paso es 0.0004kg*m², lo cual es despreciable en comparación con la inercia total de la estructura por lo que se puede asumir que el torque necesario para hacer girar las partes móviles es: **$M_{motor}=6.02 \text{ Nm}$**

Cálculo del perfil de movimiento

- Resolución obtenida

$$L_{\theta} = \frac{d_{carga}/i}{\theta_{paso}} \quad \text{Ec. 2.28}$$

Dónde:

θ_{paso} = pasos por revolución en el eje del motor

d_{carga} = desplazamiento por revolución del eje del motor

L_{θ} = resolución obtenida en el árbol de transmisión

$$L_{\theta} = \frac{360^{\circ}/4}{200 \text{ pasos/rev}}$$

$$L_{\theta} = 0,45^{\circ}/\text{paso}$$

²¹ LIN ENGINEERING. *Catálogo de Motores a Pasos*. [En línea]. Vancouver 2011 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: <<http://www.linengineering.com/LinE/contents/stepmotors/pdf/8718.pdf/>>

- Pasos totales para completar el movimiento más brusco:

$$P_{total} = \frac{\alpha_{giro}}{L_{\theta}} \quad \text{Ec. 2.29}$$

Dónde:

P_{total} = pasos totales

α_{giro} = ángulo de giro más brusco

$$P_{total} = \frac{90^{\circ}}{0,45^{\circ}/\text{paso}} = \mathbf{200 \text{ pasos}}$$

Para la antena y la estructura superior giren 90° el motor PAP debe dar 200 pulsos, es decir una vuelta del eje de motor equivale a 90° en azimut.

- Velocidad máxima de movimiento

Como se puede observar en el siguiente grafico de velocidad angular versus torque, del motor paso a paso seleccionado, el área de operación del motor está dentro de los parámetros de utilización del apuntador:

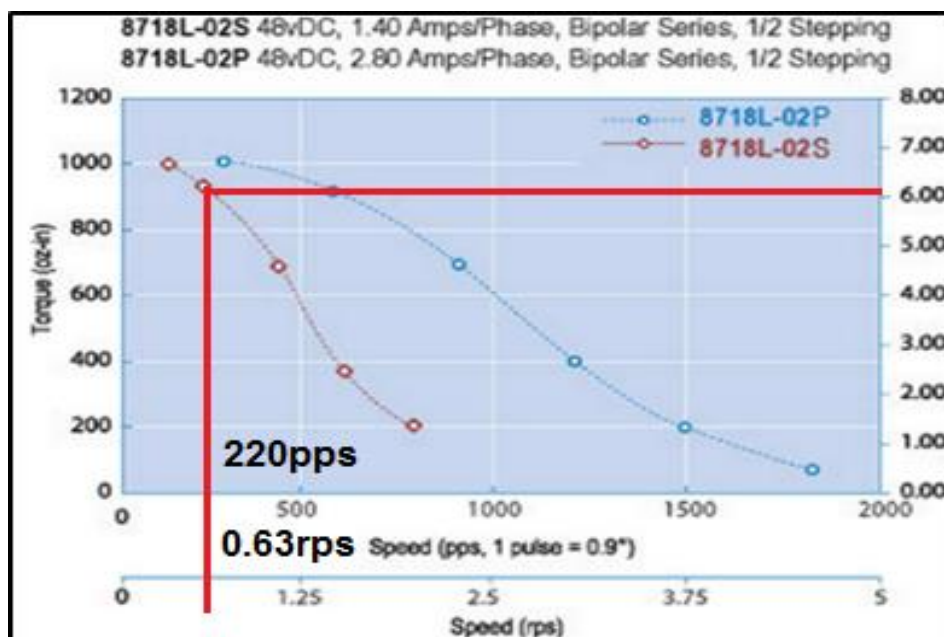


Figura 2. 15 Gráfica Torque vs Velocidad del Motor [12]

Los datos máximos de movimiento para el torque de 6.03Nm a través de la curva de operación del motor 8718L-02S de figura 2.15:

$$F_{\max} = 220 \text{ pps}$$

$$V_{\max} = 0.63 \text{ rev/s, en el lado del motor}$$

$$V_{\max} = 0.15 \text{ rev/s, en el lado de la antena, siendo } i=4$$

2.1.10 Selección del actuador lineal

El movimiento en elevación, requiere un intervalo de 0 a 90 grados, con referencia al eje transversal de la antena. Esto se consigue generando una trayectoria circular, mediante un actuador lineal eléctrico con pivote móvil, sin embargo su elección depende de la carga que tenga que desplazar y del tipo de control que se le quiera dar, en este caso será continuo. La carga máxima que desplazará el actuador lineal es el peso de la antena TEKO TELECOM, más la presión dinámica ejercida sobre la superficie de esta por el viento. Estos datos se pueden ver en el apartado 2.1.6, donde se determinan las cargas del sistema.

$$Q_{\text{act}} = Q_{\text{antena}} + Q_{\text{viento}} \quad \text{Ec 2.30}$$

$$Q_{\text{act}} = (235.44 + 621) \text{ N} = 856.44 \text{ N}$$

$$Q_{\text{act}} = 192.2 \text{ lbf}$$

Por lo tanto el actuador seleccionado deberá tener la capacidad de mover una carga de 192 lbf como un valor de diseño para las condiciones más críticas. El departamento de abastecimientos del CIDFAE tiene la gama de actuadores IMD3 Series, de aquí se elige el actuador lineal eléctrico LACT12P, con capacidad de mover 550 lbf, con un potenciómetro incluido para el control de posición. En el ANEXO B, se tiene las características mecánicas y eléctricas de este actuador.

IMD3 Series Linear Actuators					
Part Number	LACT2P	LACT4P	LACT6P	LACT8P	LACT12P
Input Voltage	12 VDC	12 VDC	12 VDC	12 VDC	12 VDC
Load Capacity	110 pounds				
Static Load	550 pounds				
Stroke Length*	2 inches	4 inches	6 inches	8 inches	12 inches
Speed @max load	0.50 in/sec				
Retracted Length	7.47 inches	9.45 inches	11.49 inches	13.49 inches	17.51 inches
Extended Length	9.47 inches	13.48 inches	17.49 inches	21.49 inches	29.51 inches
Recommended Fuse	10 Amp				

Figura 2. 16 Actuador Lineal eléctrico LACT12P [14]

a. Generación de la trayectoria del actuador lineal

Se debe precisar que el actuador eléctrico genera una trayectoria lineal, sin embargo, lo que se necesita es que esta trayectoria desplace desde 0 hasta 90 grados la antena, por tanto se requiere un sistema funcional que permita generar una trayectoria circular por medio de un actuador lineal, esto se consigue colocando 3 pivotes móviles y un anclaje. La siguiente figura muestra el mecanismo detalladamente.

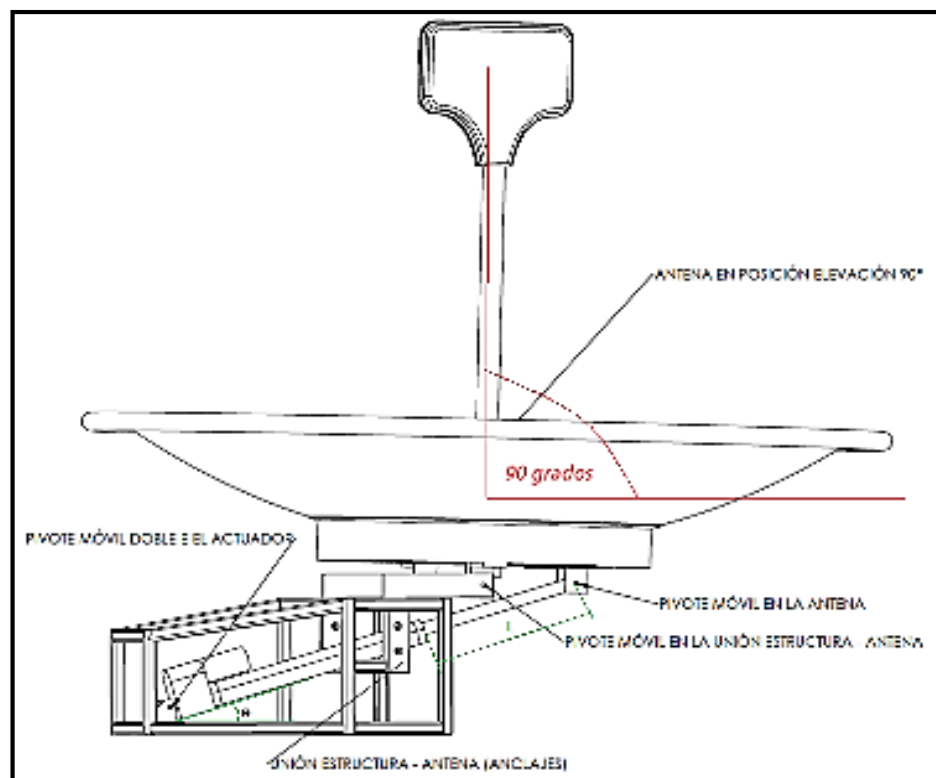


Figura 2. 17 Sistema de movimiento en elevación de la antena

Como se ve, el sistema supone que para una posición de 90° en elevación de la antena, el émbolo deberá salir una longitud de carrera “L”, y el actuador lineal deberá haberse elevado un ángulo θ con respecto a la base de la estructura superior móvil.

La tabla 2.11 contiene un extracto de los datos de la longitud de carrera y el desplazamiento angular (ϕ) generado en la antena TEKO TELECOM (0° a 90°).

Tabla 2. 12 Posición en elevación de la antena en función de la longitud de carrera del actuador

ϕ (grados)	L (mm)	L (pulgadas)
0	34,15	1,344488189
5	51,2	2,015748031
10	68,08	2,680314961
15	84,68	3,333858268
20	100,9	3,972440945
25	116,65	4,592519685
30	131,87	5,191732283
35	146,48	5,766929134
40	160,42	6,315748031
45	173,62	6,835433071
50	186,05	7,32480315
55	197,65	7,781496063

60	208,37	8,203543307
65	218,19	8,59015748
70	227,07	8,93976378
75	234,98	9,251181102
80	241,89	9,523228346
85	247,79	9,755511811
90	252,65	9,946850394

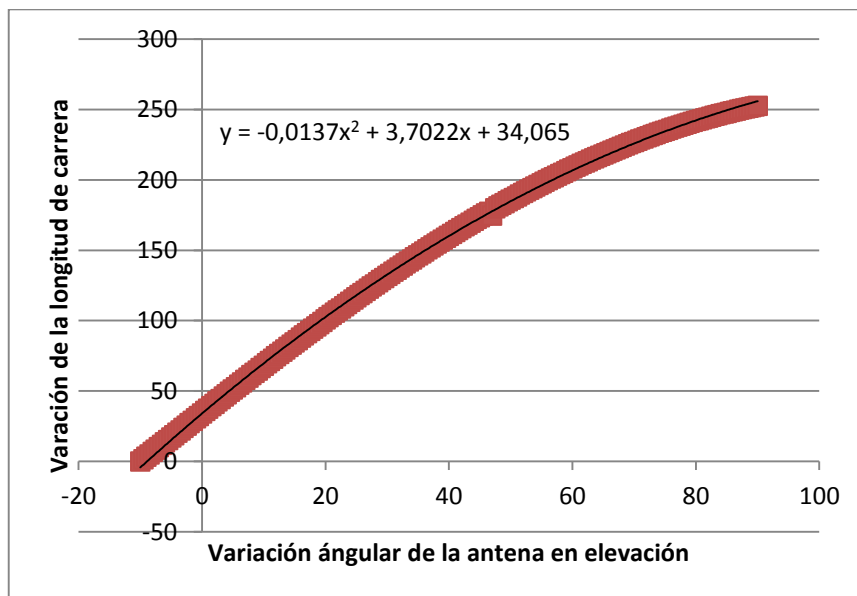


Figura 2. 18 Posición de la antena VS longitud de carrera

Lo que se puede notar es que la relación entre la longitud de carrera del actuador y el ángulo de elevación de la antena no es lineal, por lo cual se debe tener muy en cuenta este aspecto al momento de realizar el control de posición, estos detalles se revisarán a profundidad en la sección de diseño electrónico.

2.1.11 Modelado de la estructura mediante SolidWorks

Como se mencionó en la sección 1.9, SolidWorks es un software relativamente fácil de utilizar en cuanto a modelado de piezas, además de que su aplicabilidad es bastante difundida a nivel local.

Una vez determinados los componentes a utilizar, es preciso modelarlos y diseñar una estructura que se adapte a los requerimientos del CIDFAE, donde se monten todos los elementos previstos para el funcionamiento del apuntador electromecánico de antenas.

Es indispensable trabajar con medidas reales de los equipos, características concretas de materiales y pesos exactos de cada elemento, por esto se recurre a los planos originales, adjuntos en el Anexo B, existentes en catálogos y registros de las empresas propietarias del producto.

a. Componentes eléctricos/electrónicos.

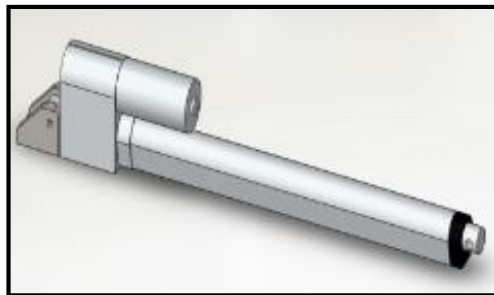


Figura 2. 19 Modelado del actuador eléctrico lineal LACT12P

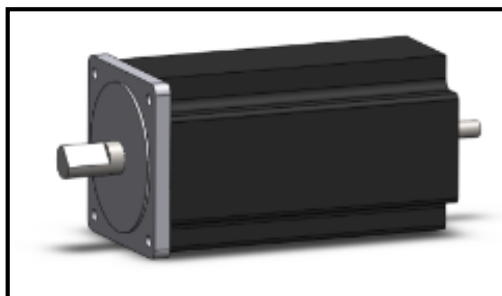


Figura 2. 20 Modelado del motor paso a paso bipolar 8718L-02S

b. Estructura superior móvil.

Consta de 2 anclajes donde se montará la antena, empernados a la parte delantera, aquí también se montará el actuador lineal eléctrico y será acoplado al árbol de transmisión para girar en azimut, su construcción se la realizará con tubo cuadrado, platinas y perfiles de acero estructural ASTM A36. Las dimensiones y los pesos se encuentran en el ANEXO B.

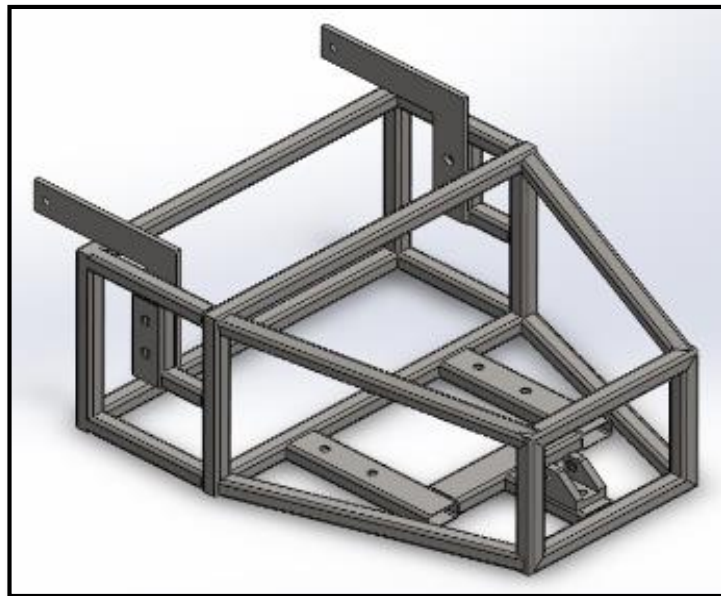
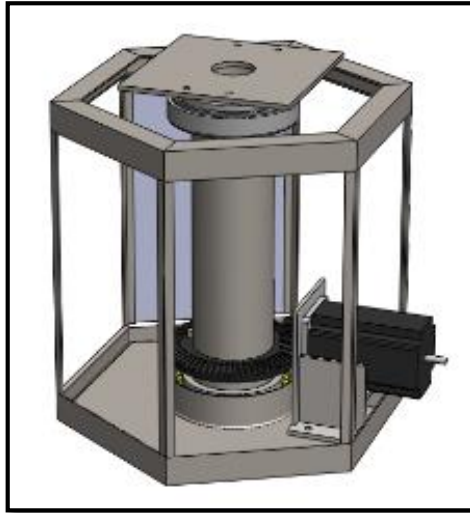


Figura 2. 21 Estructura superior móvil

c. Estructura inferior y árbol de transmisión

La estructura inferior constituye un hexágono, con el fin de que la distribución de los esfuerzos sea uniforme, está acoplada al árbol de transmisión seleccionado previamente, y este a su vez se acopla al motor paso a paso por medio de un sistema de transmisión de engranajes cono-corona, de relación 1:4; en los extremos superior e inferior del árbol 2 cojinetes de rodamientos aseguran la estabilidad y minimizan la vibración, además la parte superior está soldada a una placa donde se emperna la estructura superior móvil.



• **Figura 2. 22 Estructura inferior con el árbol de transmisión**

d. Estructura de soporte y desplazamiento

Finalmente la estructura de soporte y desplazamiento constituye la base del apuntador electromecánico de antenas, donde se apoyará la estructura y a través del cual se podrá trasladar el equipo a cortas distancias, las garruchas industriales, ideales para este trabajo.

En la caja colocada sobre la estructura de soporte y desplazamiento irá montado el equipo electrónico para la transmisión de las señales al Shelter.

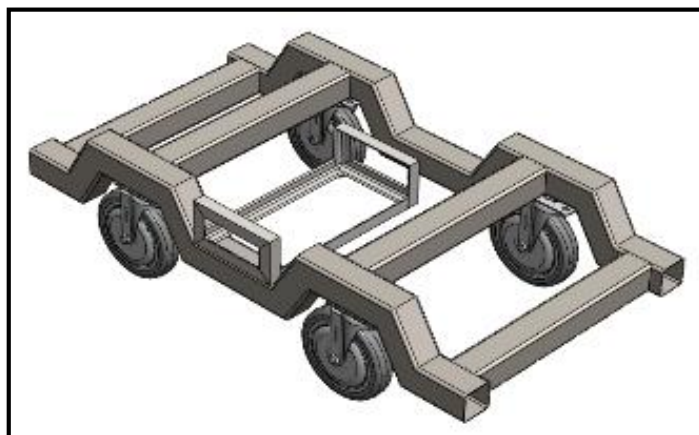


Figura 2. 23 Estructura de soporte y desplazamiento

e. Estructura total del Apuntador Electromecánico de Antenas.

Una vez modelados todos los componentes, se acopla la antena, previamente modelada en la sección 2.1.4 y se obtienen los siguientes resultados:



Figura 2. 24 Estructura del apuntador con la antena TEKOTELCOM



Figura 2. 25 Estructura del apuntador de antenas construido

2.1.12 Análisis de la estructura mediante ANSYS 14

Mediante el software ANSYS 14 se obtienen los valores de deformación total, deformación elástica equivalente, esfuerzo equivalente de Von Mises y el factor de seguridad en el análisis estático y transitorio respectivamente, aplicando según corresponda las cargas previamente calculadas en la sección 2.1.6, obteniendo los siguientes resultados:

a. Estructura Superior

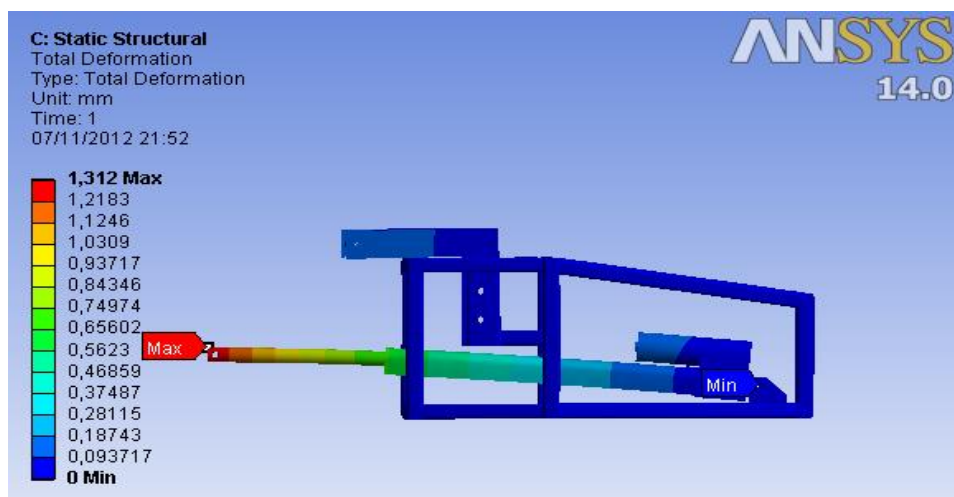


Figura 2. 26 Deformación total, análisis estático.

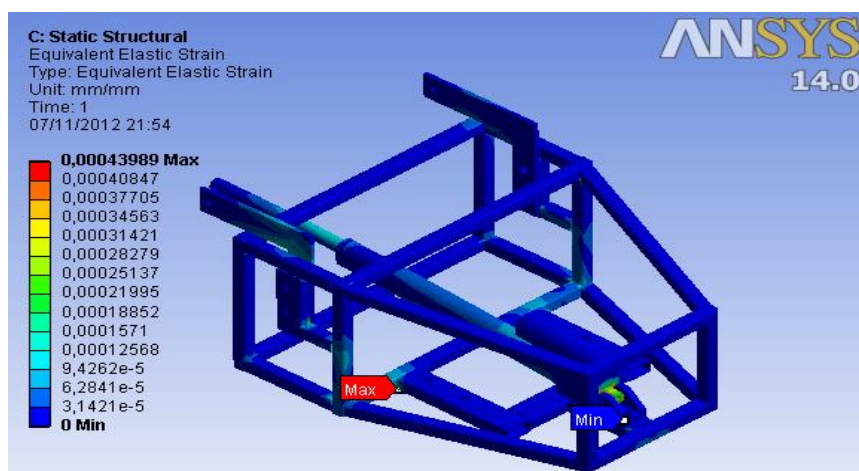


Figura 2. 27 Deformación elástica equivalente, análisis estático.

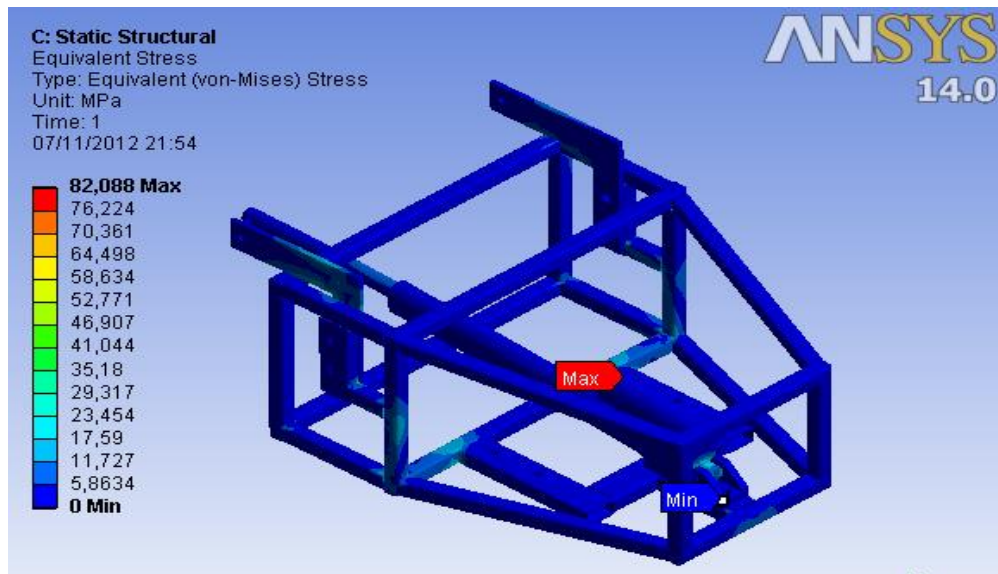


Figura 2. 28 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis estático.

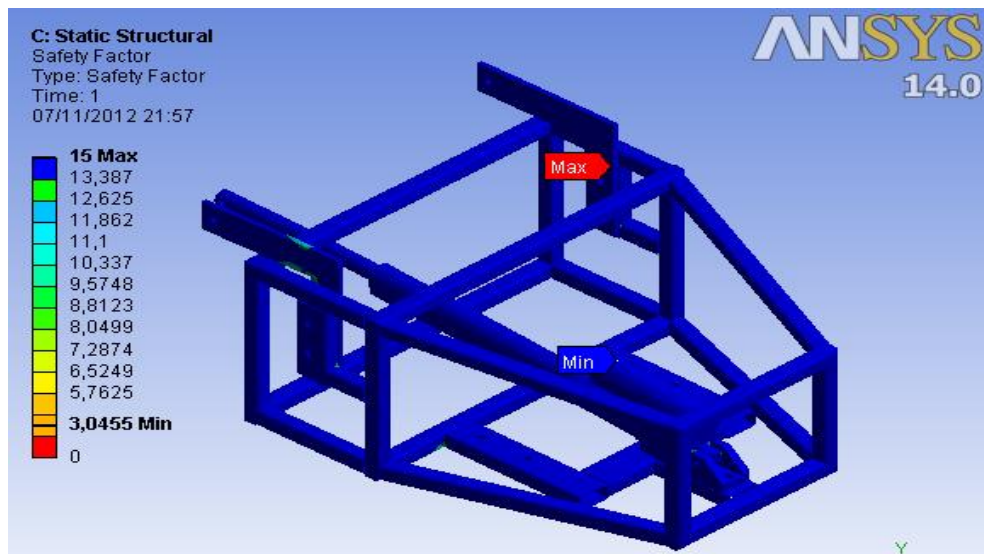


Figura 2. 29 Factor de seguridad, análisis estático.

Mediante el análisis estático estructural, se comprueba que la estructura superior junto con el actuador lineal eléctrico soportan eficientemente el efecto de las cargas estáticas aplicadas, tanto en deformación total, elástica y esfuerzo equivalente de Von Mises, obteniendo un factor de diseño estático de 3,0455, lo cual significa que soporta 3 veces el peso total.

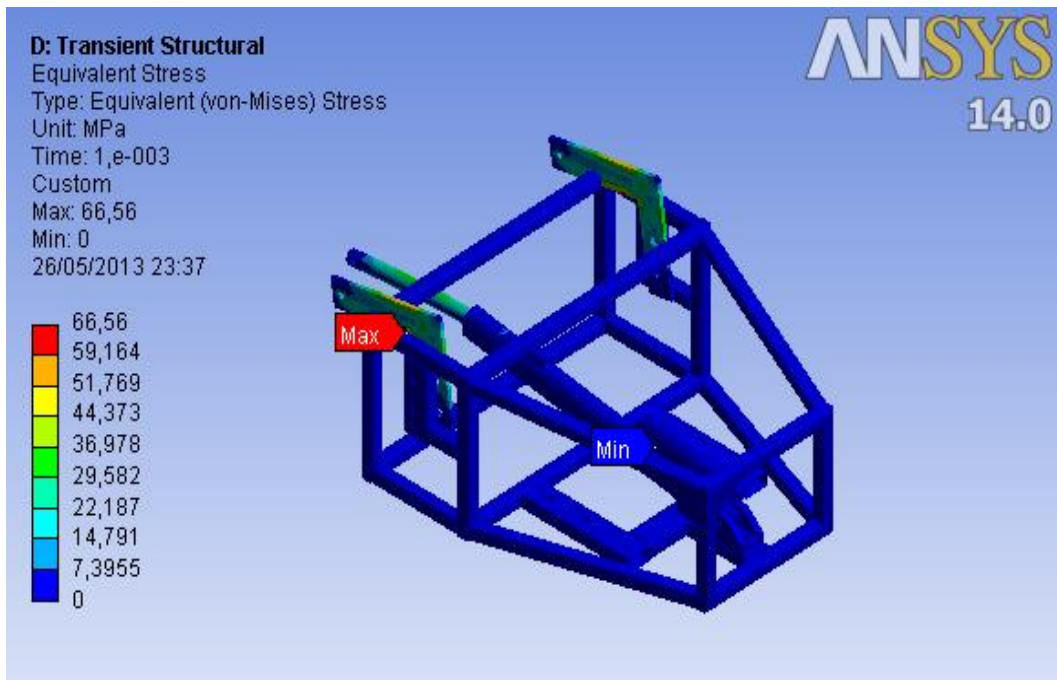


Figura 2. 30 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis dinámico

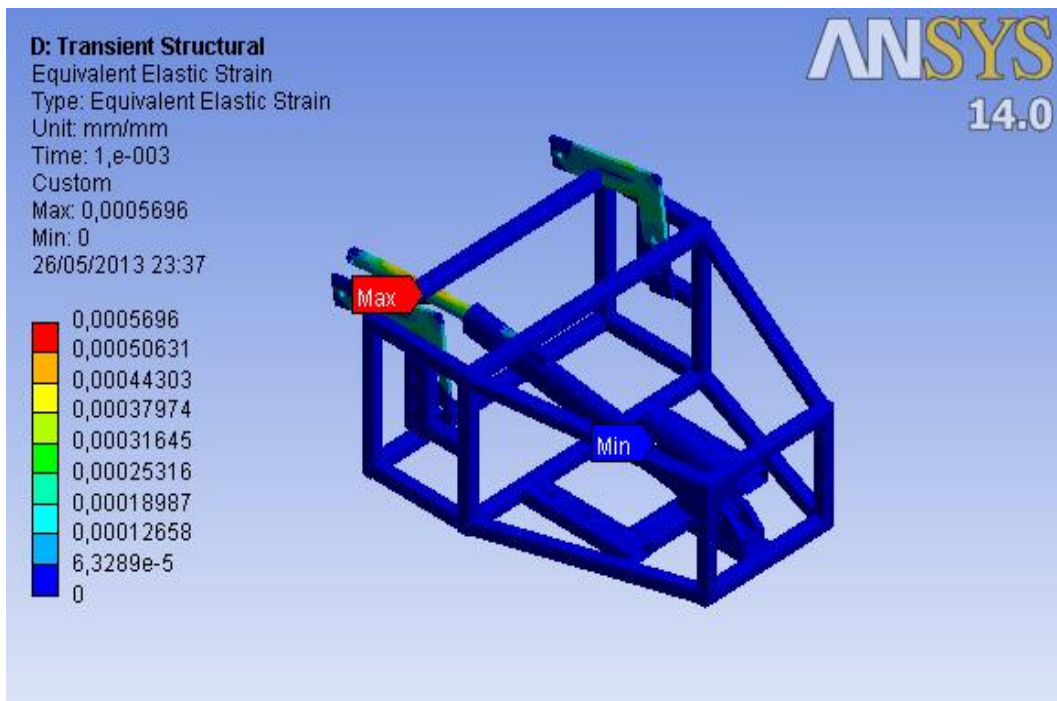


Figura 2. 31 Deformación elástica equivalente, análisis dinámico

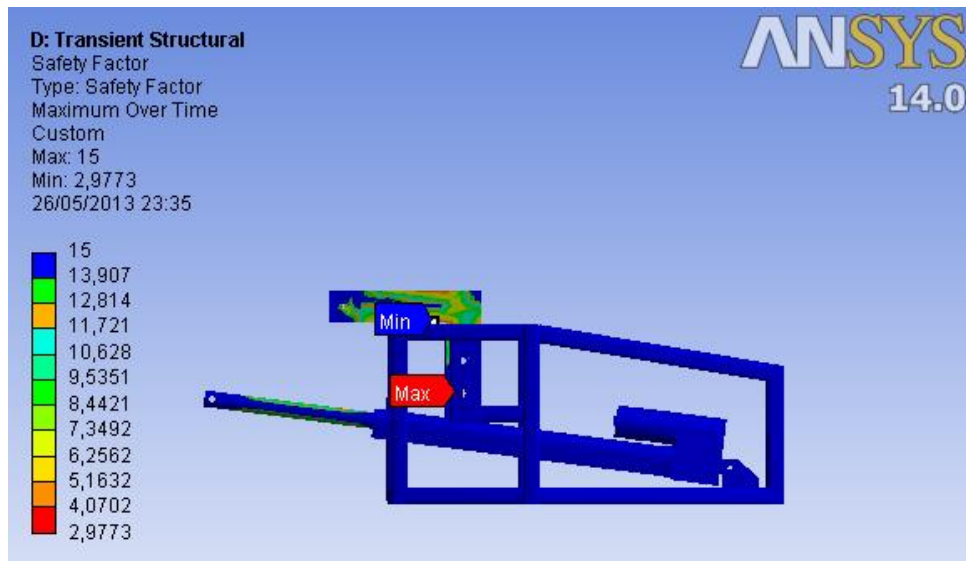


Figura 2. 32 Factor de seguridad, análisis dinámico

Mediante el análisis de transferencia de esfuerzos, se comprueba que la estructura superior junto con el actuador lineal eléctrico soportan eficientemente el efecto de las cargas dinámicas aplicadas, en deformación elástica y esfuerzo equivalente de Von Mises, obteniendo un factor de diseño dinámico de 2.97, por tanto soporta casi el triple del peso total.

b. Árbol de Transmisión

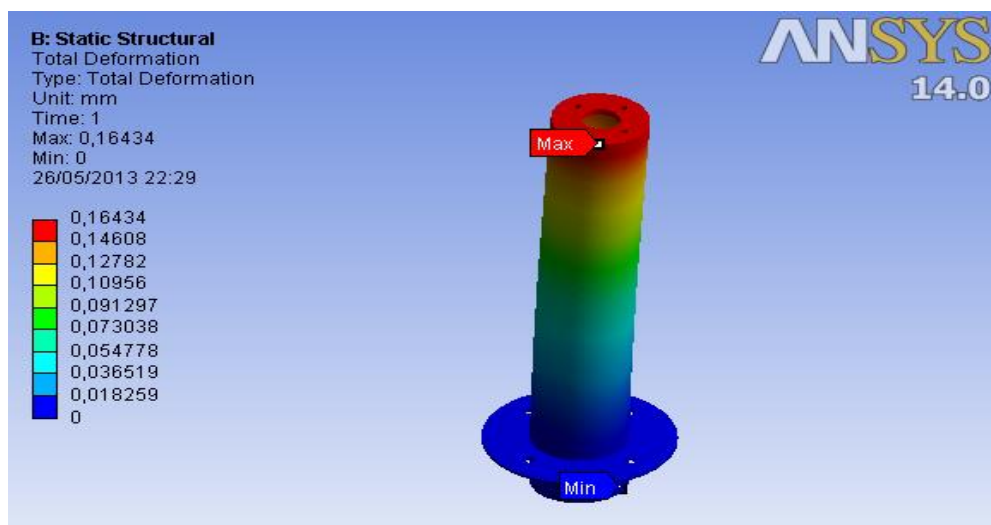


Figura 2. 33 Deformación total, análisis estático.

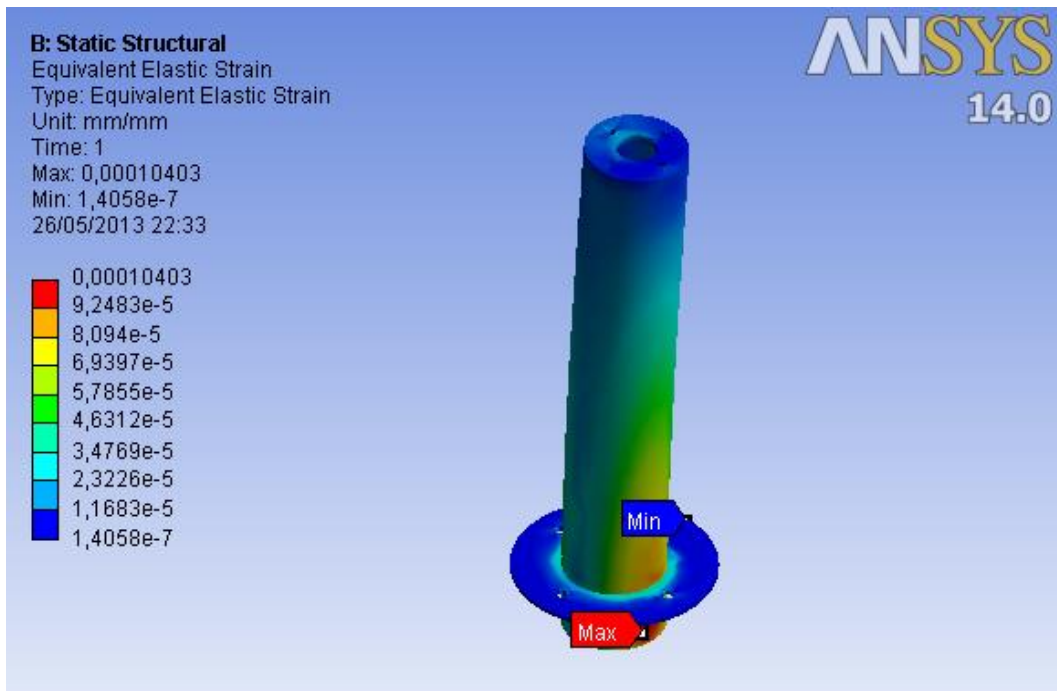


Figura 2. 34 Deformación elástica equivalente, análisis estático.

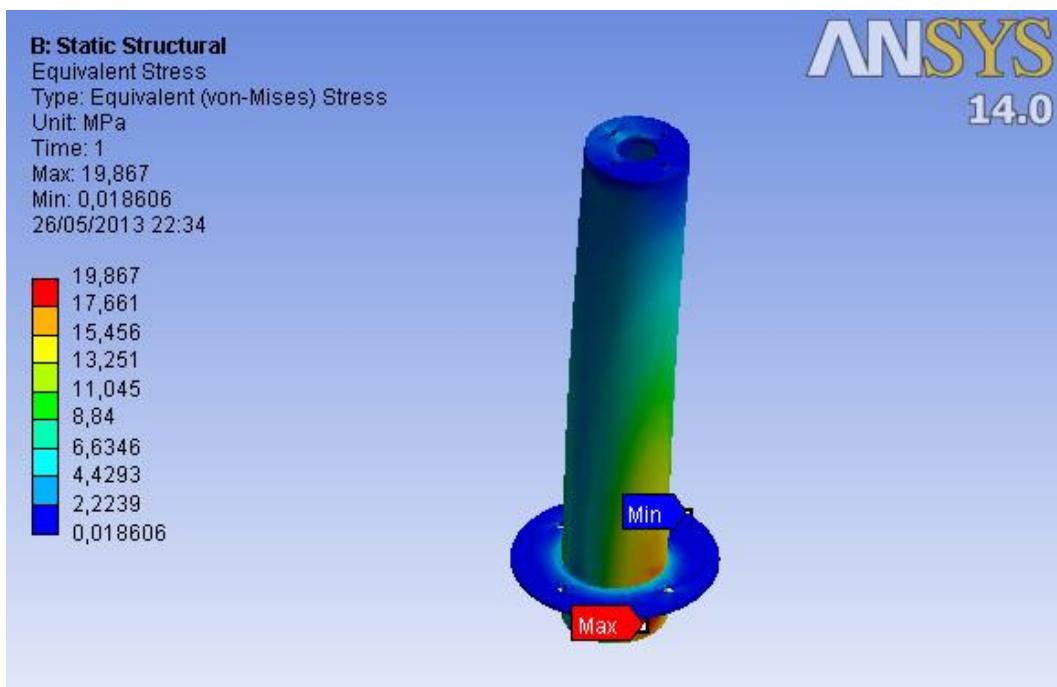


Figura 2. 35 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis estático.

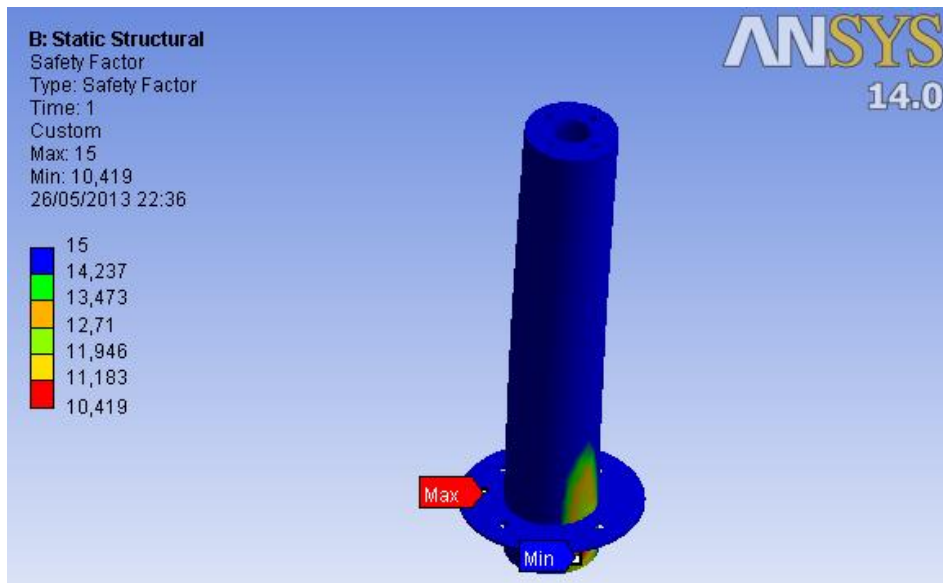


Figura 2. 36 Factor de seguridad, análisis estático

Mediante el análisis estático estructural, se comprueba que el árbol de transmisión soporta eficientemente el efecto de las cargas estáticas aplicadas, tanto en deformación total, elástica y esfuerzo equivalente de Von Misses, obteniendo un factor de diseño estático mínimo de 10,4 similar al factor de seguridad calculado en el apartado 2.1.6 literal f de 10.78.

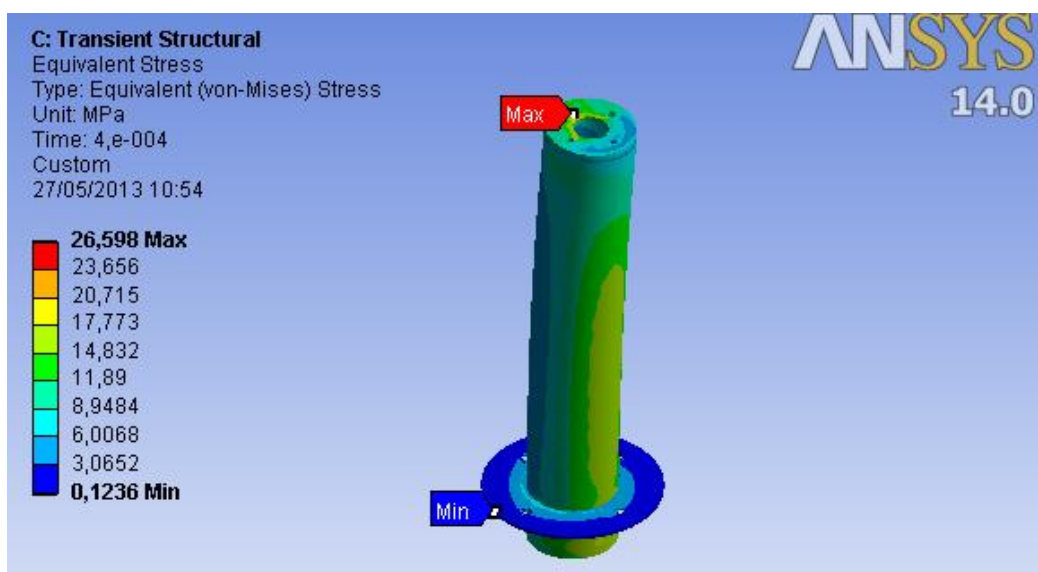


Figura 2. 37 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis dinámico

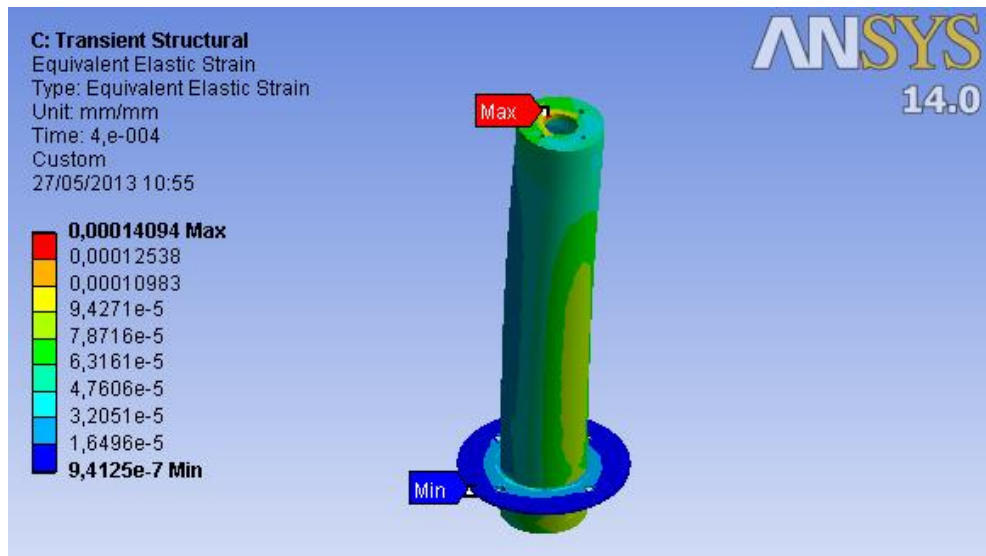


Figura 2. 38 Deformación elástica equivalente, análisis dinámico

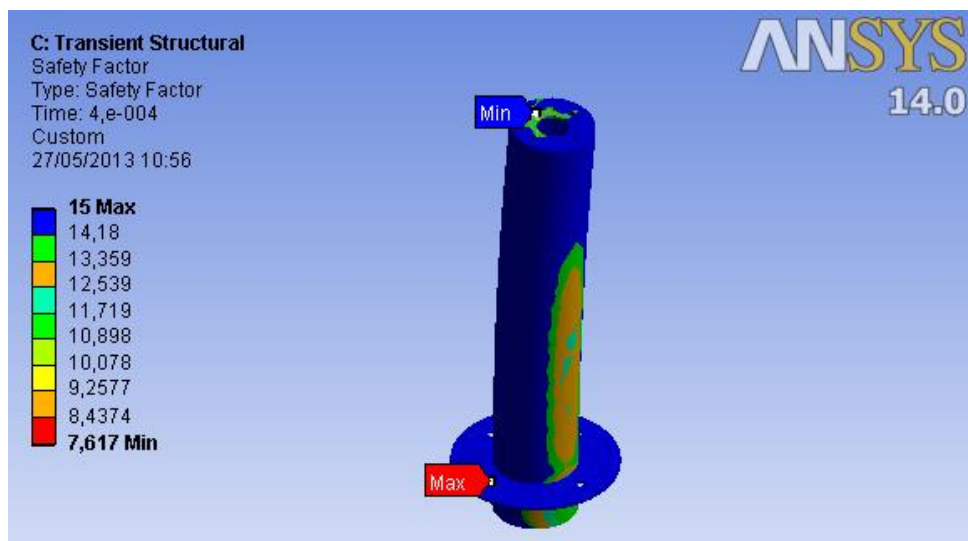


Figura 2. 39 Factor de seguridad, análisis estático

Mediante el análisis de transferencia de esfuerzos, se comprueba que el árbol de transmisión soporta eficientemente el efecto de las cargas dinámicas aplicadas, en deformación elástica y esfuerzo equivalente de Von Mises, obteniendo un factor de diseño dinámico de 7.6, superior al factor de seguridad de 5 sugerido por el CIDFAE debido a la aplicación militar del proyecto.

c. Estructura Inferior

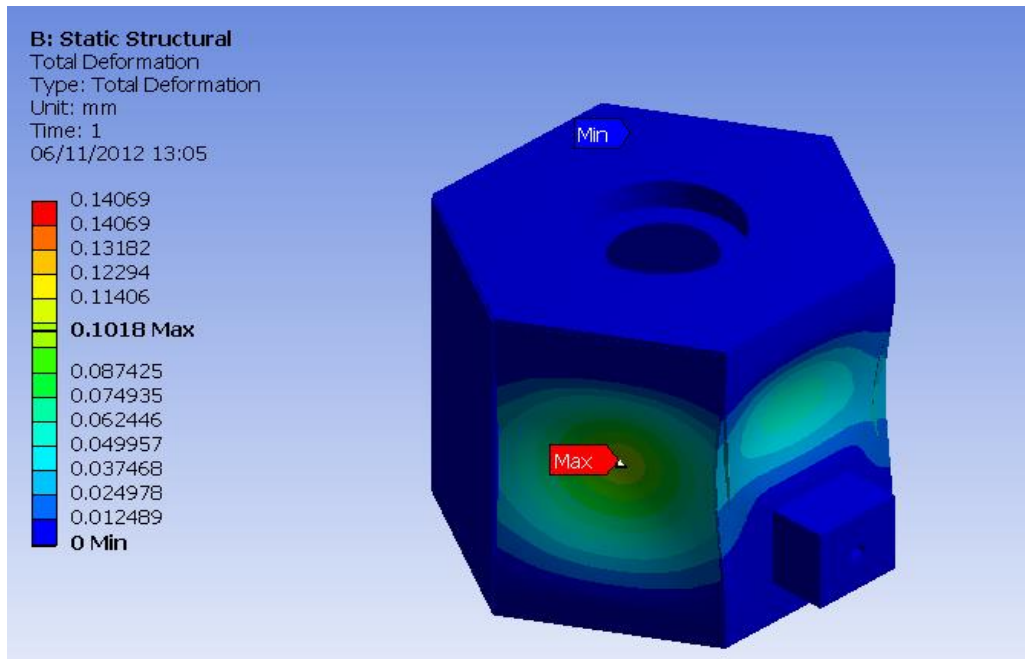


Figura 2. 40 Deformación total, análisis estático

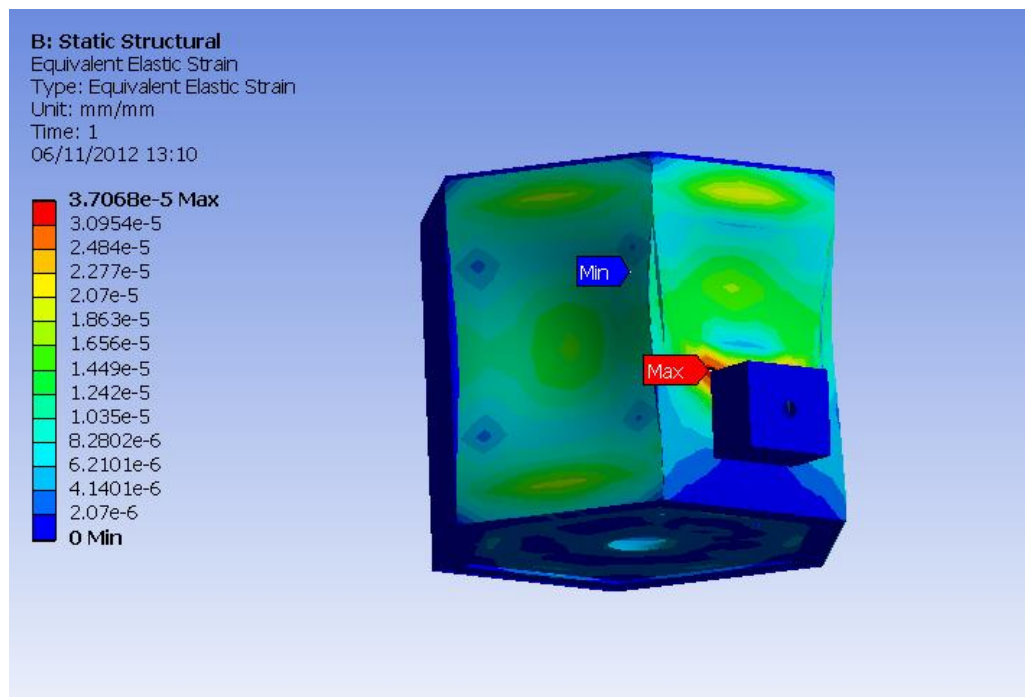


Figura 2. 41 Deformación elástica equivalente, análisis estático

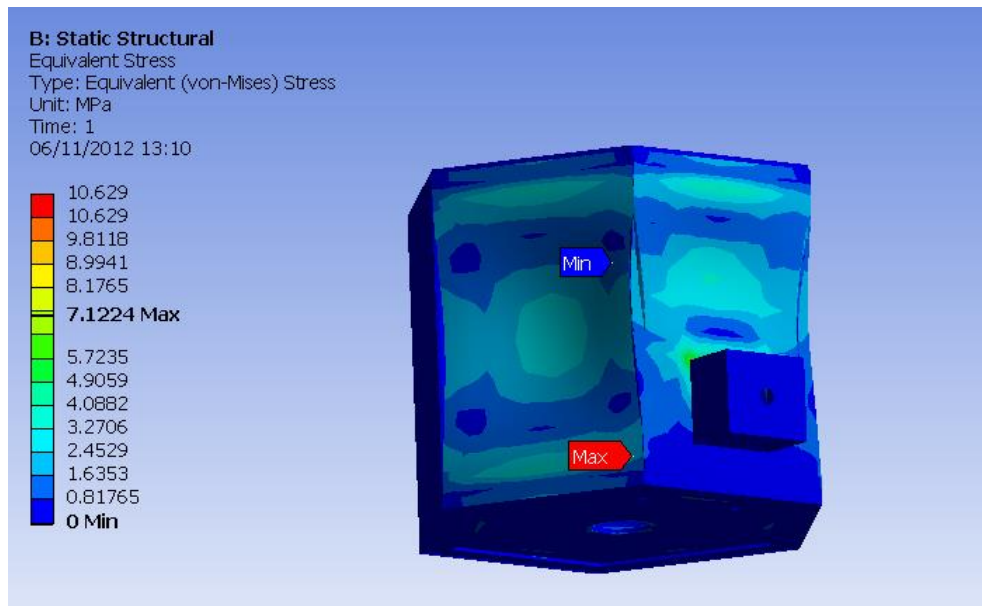


Figura 2. 42 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis estático

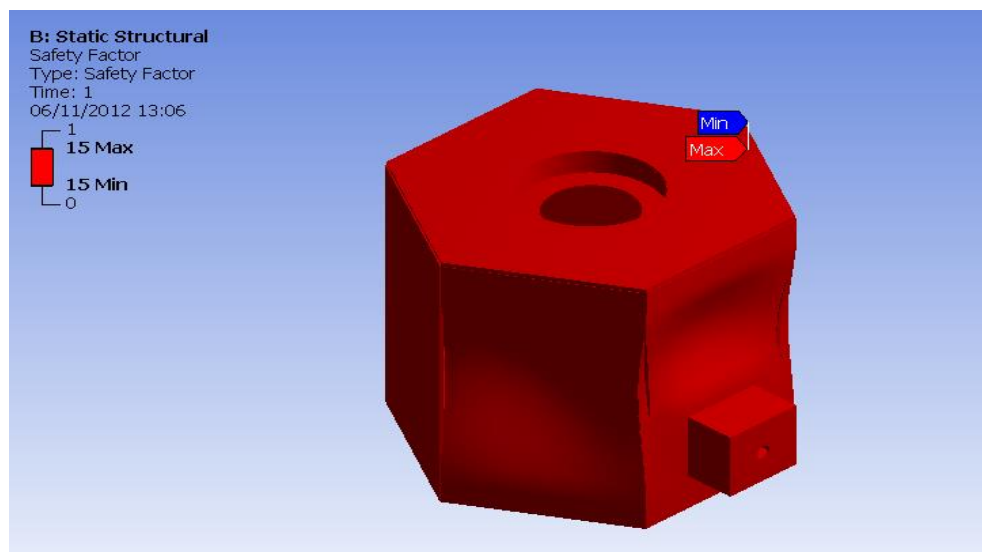


Figura 2. 43 Factor de seguridad, análisis estático

Mediante el análisis estático estructural, se comprueba que la estructura inferior soporta eficientemente el efecto de las cargas estáticas aplicadas, tanto en deformación total, elástica y esfuerzo equivalente de Von Mises, obteniendo un factor de diseño estático mayor que 15, elevado por considerarse la aplicación militar del proyecto.

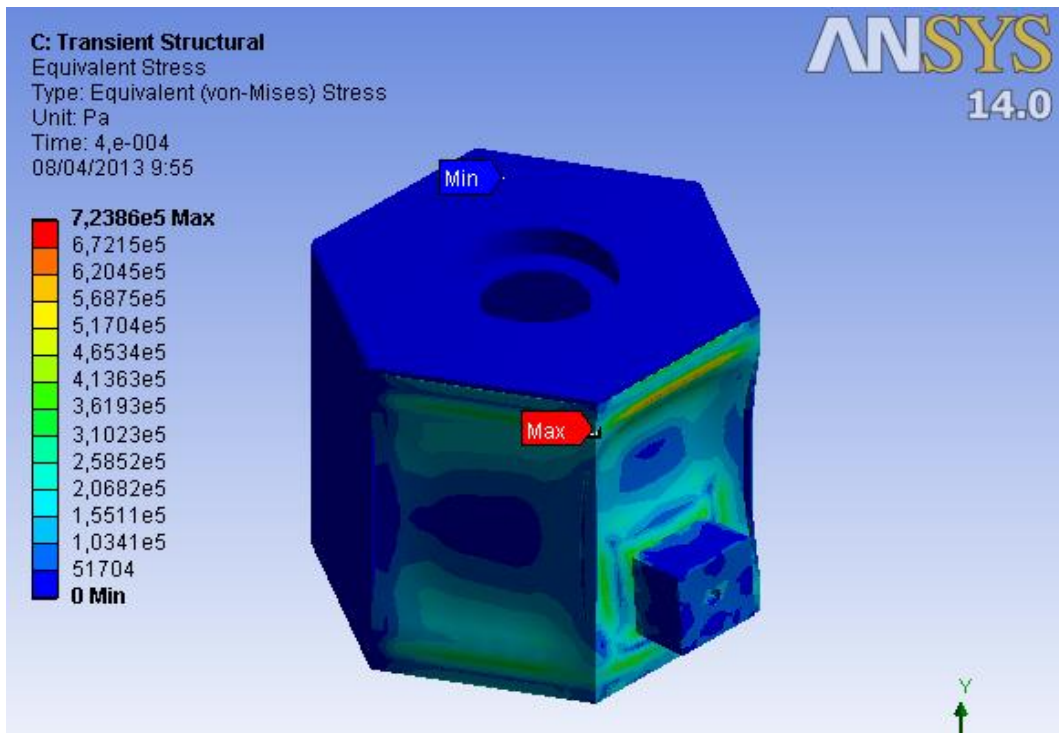


Figura 2. 44 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis dinámico

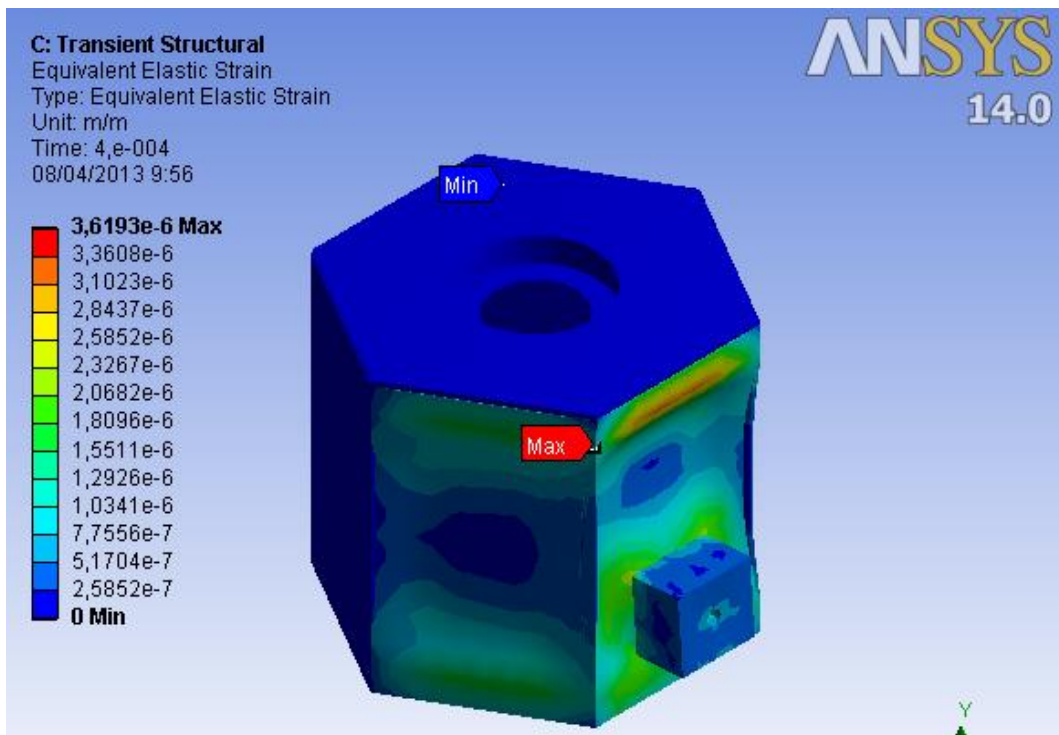


Figura 2. 45 Deformación elástica equivalente, análisis dinámico

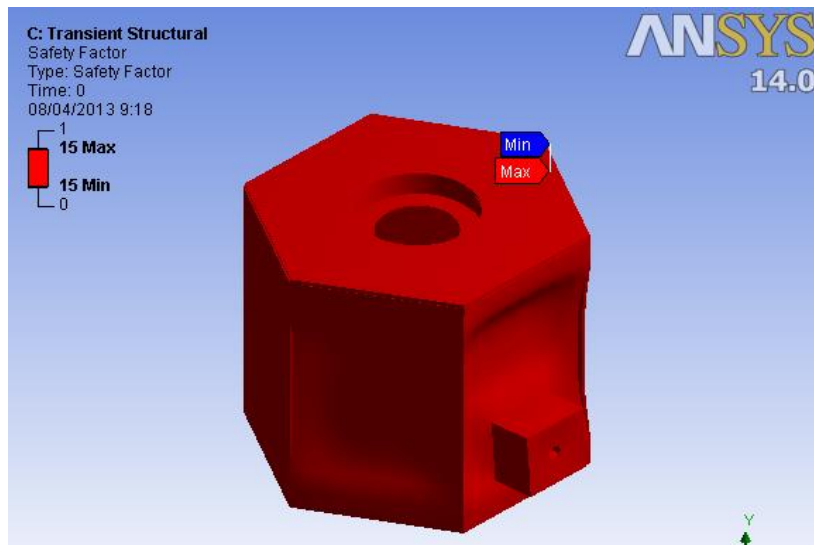


Figura 2. 46 Factor de seguridad, Análisis dinámico

Mediante el análisis transitorio estructural, se comprueba que la estructura inferior soporta eficientemente el efecto de las cargas dinámicas aplicadas, en deformación elástica y esfuerzo equivalente de Von Mises, obteniendo un factor de diseño estático mayor a 15, elevado por considerarse la aplicación militar del proyecto.

d. Estructura de soporte y desplazamiento

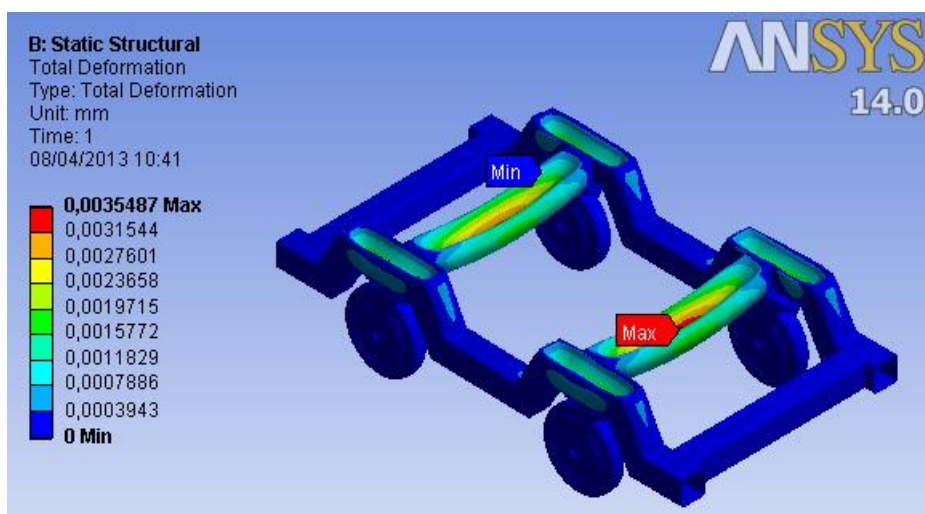


Figura 2. 47 Deformación total, análisis estático

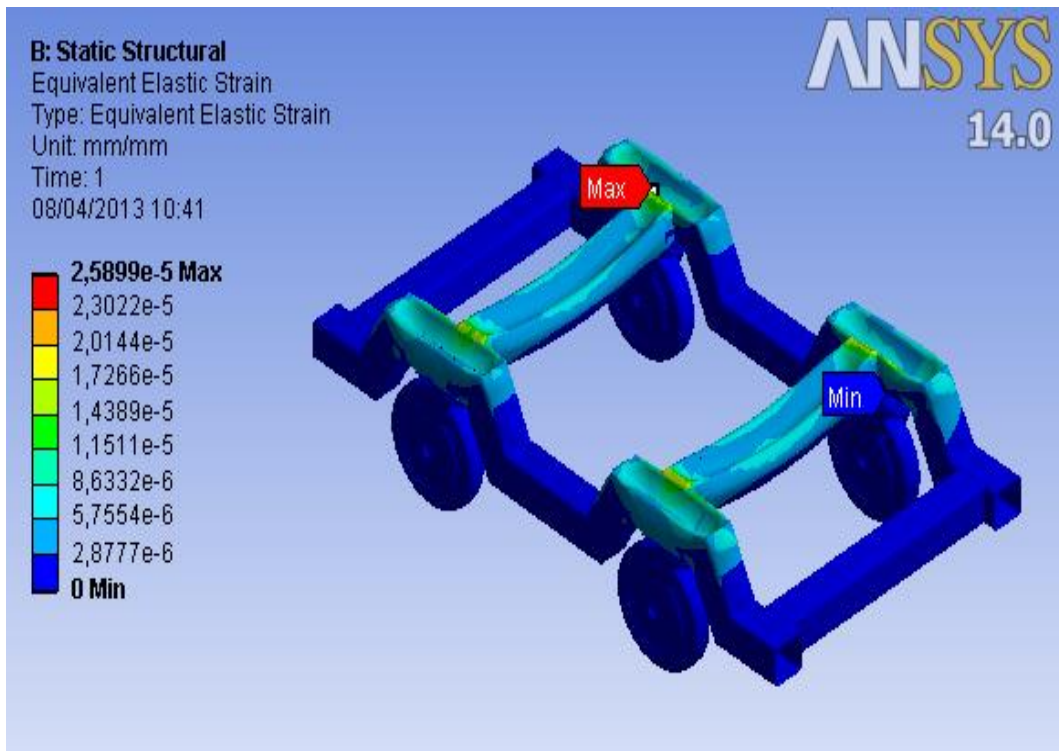


Figura 2. 48 Deformación elástica equivalente, análisis estático

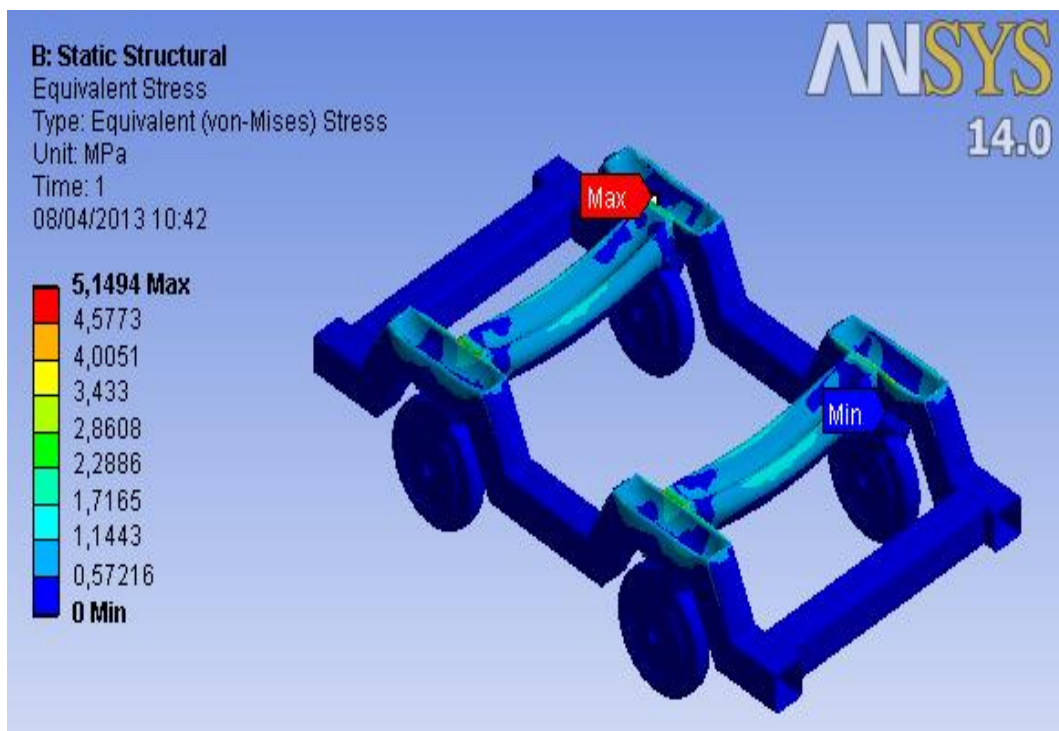


Figura 2. 49 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis estático

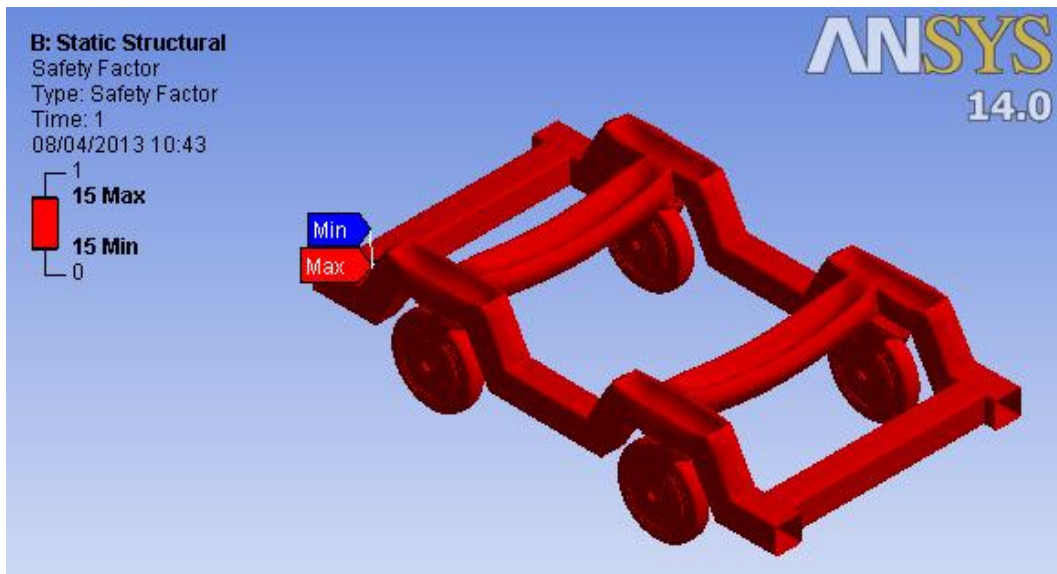


Figura 2. 50 Factor de seguridad, análisis estático

Mediante el análisis estático estructural, se comprueba que la estructura de soporte y desplazamiento soporta eficientemente el efecto de las cargas estáticas aplicadas, tanto en deformación total, elástica y esfuerzo equivalente de Von Misses, obteniendo un factor de diseño estático mayor que 15, elevado por considerarse la aplicación militar del proyecto.

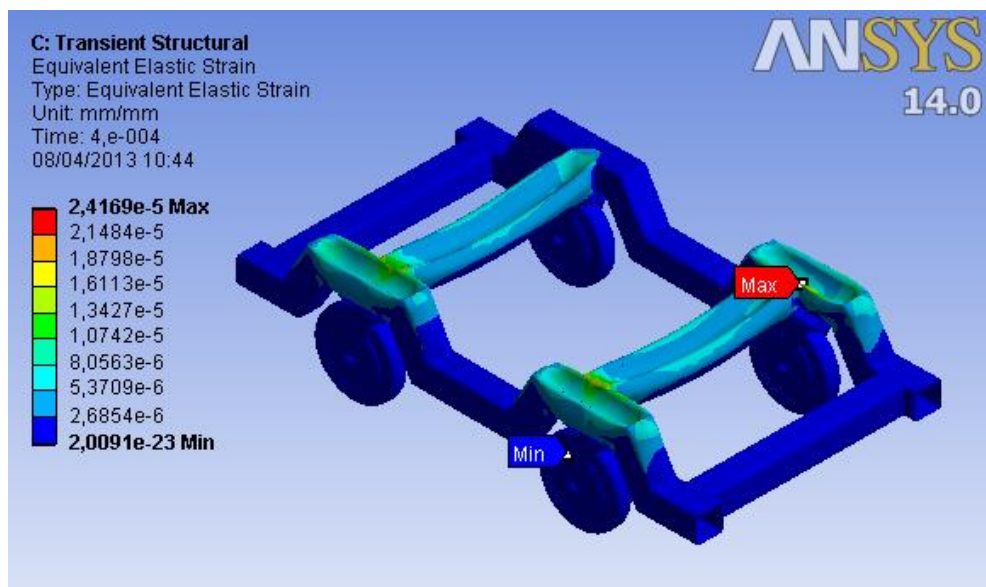


Figura 2. 51 Deformación elástica equivalente, análisis dinámico

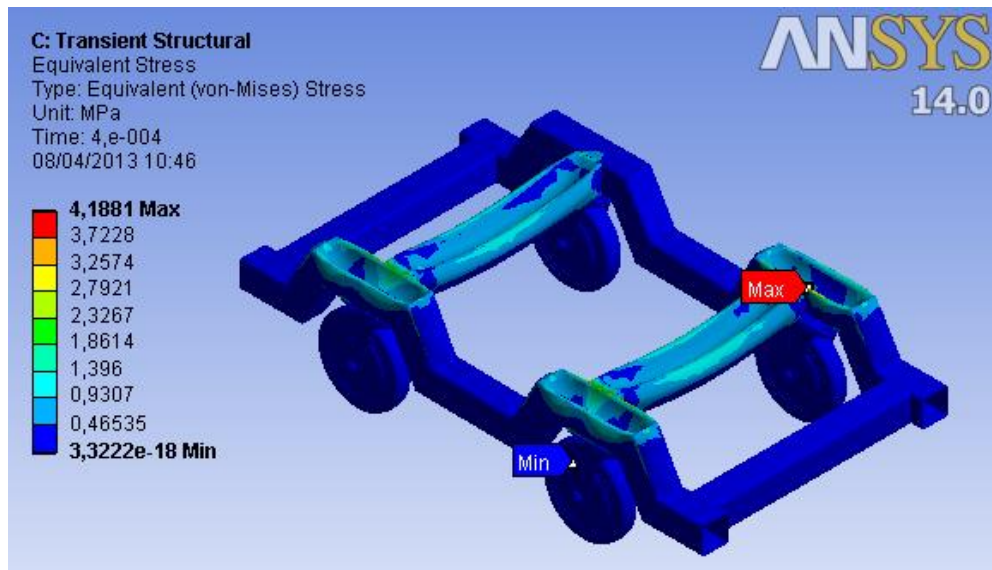


Figura 2. 52 Esfuerzo equivalente de Von Mises, análisis dinámico

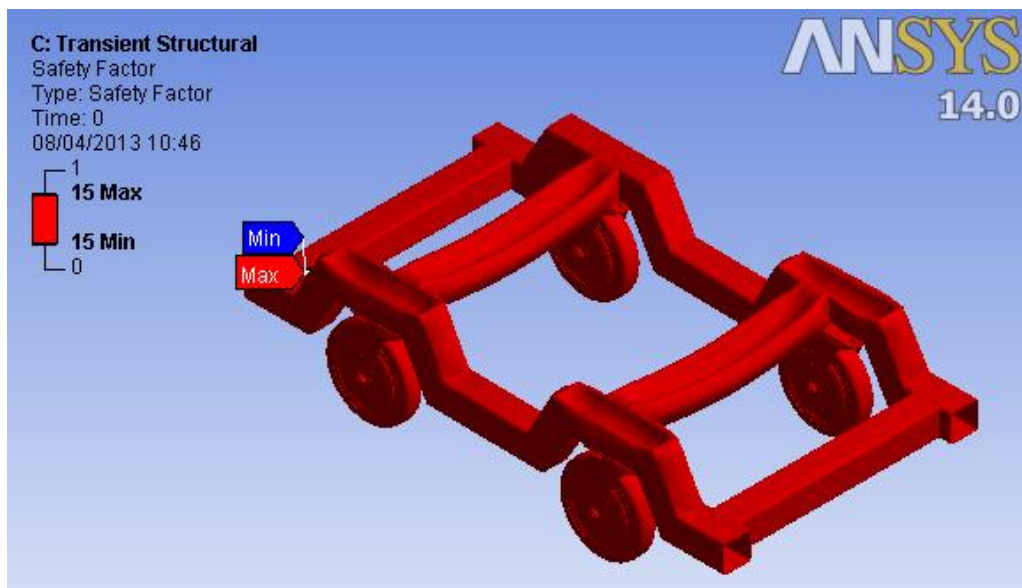
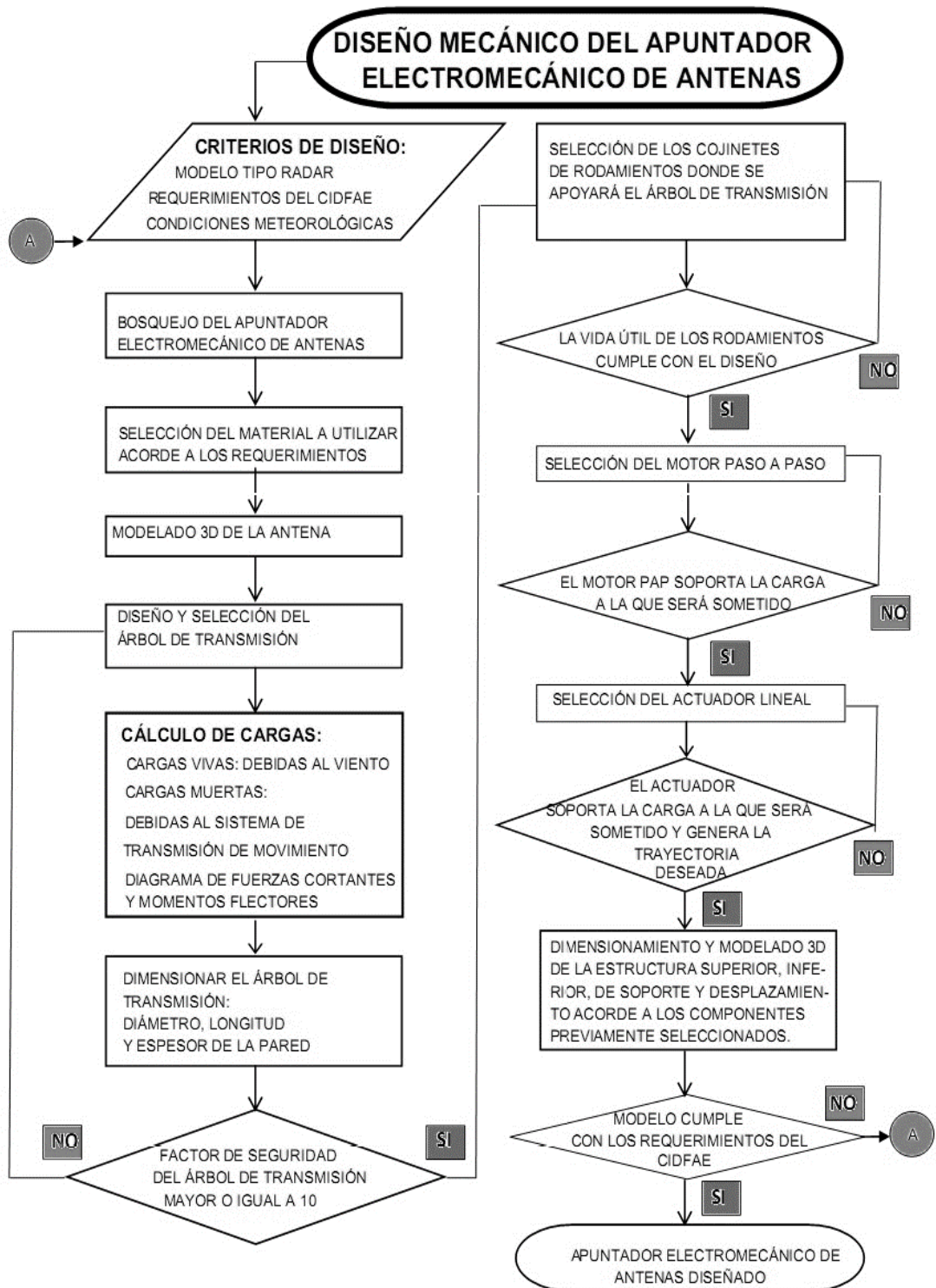


Figura 2. 53 Factor de seguridad, análisis dinámico

Mediante el análisis de transferencia de esfuerzos, se comprueba que la estructura de desplazamiento soporta eficientemente el efecto de las cargas dinámicas aplicadas, en deformación elástica y esfuerzo equivalente de Von Mises, obteniendo un factor de diseño dinámico mayor que 15, elevado por considerarse la aplicación militar del proyecto.

2.2 DIAGRAMA DE DISEÑO DEL APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS.



2.3 DISEÑO ELÉCTRICO

Involucra el sistema eléctrico del apuntador electromecánico de antenas, diagramas de conexión y selección de componentes. Algo fundamental es sin duda las fuentes de energía tanto del motor paso a paso como del actuador lineal eléctrico.

2.3.1 Características de los componentes eléctricos del Apuntador Electromecánico de Antenas.

Cada uno de los elementos seleccionados previamente, tiene sus características eléctricas, esto es fundamentalmente voltaje, potencia, y corriente; mediante los cuales se determina el tipo de fuente de energía que se requiere. En la siguiente tabla se detallan dichas características:

Tabla 2. 13 Características de los componentes eléctricos

Equipo	Voltaje (Vdc)	Potencia (W)	Corriente (A)
Motor paso a paso 8718L-02S	36 a 48	116 máx.	1.4 por fase
Actuador lineal eléctrico LACT12P	05 a 12	72 máx.	6 máx.

2.3.2 Fuentes de energía

En función de las características eléctricas se determina la fuente de energía idónea para cada equipo, con el objetivo de que el apuntador de antenas funcione continuamente durante los tiempos estimados por misión, siendo 2 horas máximo el tiempo de vuelo de acuerdo a las estadísticas del CIDFAE. (Ver Anexo C). Sin embargo se diseña el sistema con fuentes de alimentación de CC que permiten el funcionamiento permanente del apuntador de antenas, en función de la energía que suministra el Shelter.

Tabla 2. 14 Registro de horas de vuelo cumplidas del proyecto UAV

FECHA	TIEMPO DE VUELO(min)	TIEMPO DE VUELO UAV	PERIODOS	NOVEDADES	PILOTO
AGOSTO DEL 2012					
01-ago-12	26		1		Mayo. Armas
02-ago-12	16		1		Mayo. Armas
06-ago-12	27		2		Mayo. Armas
07-ago-12	29		2		Mayo. Armas
13-ago-12	25		1		Sgos. Carrillo E
15-ago-12	25		2		Sgos. Carrillo E
16-ago-12	18		1		Mayo. Armas
17-ago-12	25		1		Sgos. Carrillo E
20-ago-12	20		1		Sgos. Carrillo E
21-ago-12	12		1		Sgos. Carrillo E
22-ago-12	19		1		Sgos. Carrillo E
23-ago-12	41		1		Uwe Nichelsen
29-ago-12	13		1		Uwe Nichelsen
TOTAL.	296	0	16		
SEPTIEMBRE DEL 2012					
05-sep-12	21		1		Sgos. Carrillo E
10-sep-12	10	5	1		Uwe Nichelsen
11-sep-12	22		2		Uwe Nichelsen
12-sep-12	12	32	1	vuelo UAV salcedo	Uwe Nichelsen
20-sep-12	17		1		Sgos. Carrillo E
25-sep-12	20		1		Uwe Nichelsen
TOTAL	102	37	7		

a. Actuador lineal eléctrico

Dos de los cinco cables del actuador lineal eléctrico corresponden al circuito de potencia (0 y 12 V), los cuales bajan por el interior del árbol de transmisión por medio de un conector militar hasta la estructura inferior donde se conecta un cable de alimentación de la fuente de CC colocada en el Shelter.

b. Motor paso a paso

En cuanto a la fuente de energía del motor paso a paso, se revisa el catálogo TDK-Lambda, a fin de encontrar la fuente que suministre un voltaje aproximado a 48Vdc y una corriente de al menos 10 A, pues el motor necesita 3 A nominales. Obteniendo:

Model Selector								
Model	Voltage	Adjust Range	Curr. (A)	Max Pwr (W)	Max Reg (mV)	Load Reg (mV)	Line Noise (mV)	Ripple Eff.(3) (typ)%
SWS1000L-36	36V	28.8 - 43.2V	29A	1044W	216	144	200	84 / 86
SWS600L-48	48V	38.4 - 56V	13A (15A) ²	624W(720W)	288	192	200	82 / 84
SWS1000L-48	48V	38.4 - 56V	22A (25A) ²	1056W(1200W)	288	192	200	84 / 86
SWS600L-60	60V	48 - 66V	10A	600W	360	240	200	82 / 84

Figura 2. 54 Fuente de energía TDK- Lambda SWS600L/60

De aquí se ha seleccionado la fuente de energía SWS1000L-60, cuyo rango de voltaje oscila entre 48 y 66 voltios, con una corriente de 10 A, cumpliendo con los requerimientos del motor a pasos 8718L-02S.

Model		SWS300	SWS600
Input Voltage range (1)	-	85 - 265VAC (47 - 63Hz) or 120 - 370VDC	
Inrush Current (115 / 230VAC)	A	20 / 40 at 25°C, cold start	
Power Factor	-	Meets EN61000-3-2	
Input Current (100/200VAC)	A	3.6 / 1.8A	7.2 / 3.6A
Temperature Coefficient	-	<0.02%/°C	
Overcurrent Protection	-	>105%, Constant current style	
Overvoltage Protection	V	3.3V: 4.1-5.3V, 5V: 6.25-7.5V, 12V: 13.8-16.8V 15V: 19.3-24.2V, 24V: 30-34.8V, 36V: 41.4-50.4V, 48V: 60-69.6V	
Overtemperature Protection	-	Yes, cycle AC to reset	
Hold Up Time (Typ)	ms	20ms at 115/230VAC	
Leakage Current (max)	mA	SWS300: 0.75mA, SWS600: 1.5mA	
Remote Sense	-	None	Yes
Parallel Connection	-	None	Yes
Remote On/Off	-	None	Yes, >4.5V to shutdown
Power Fail Signal	-	None	Yes, open collector output
LED Indicator	-	Green LED = On	
Operating Temperature	°C	-10 to +65°C (See table for derating - model specific)	
Storage Temperature	°C	-30 to +85°C	
Humidity (non-condensing)	-	30 - 90% RH operating, 10 - 95%RH non operating	
Cooling	-	Internal fan	
Withstand Voltage	-	I/P to Grnd 2kVAC, I/P to O/P 3kVAC, O/P to Grnd 500VAC, O/P to CNT 100VAC for 1 min	
Isolation Resistance	-	>100M at 25°C & 70%RH, Output to Ground 500VDC	
Vibration (non operating)	-	10 - 55Hz (sweep for 1 min)19.6m/s ² constant X, Y, Z 1 hour each plane)	
Immunity	-	EN61000-4-2, -3, -4, -5, -6, -8, -11	
Safety Agency Approvals	-	UL60950-1, CSA60950-1, EN60950-1, EN50178, CE Mark, SEMI F47 (208VAC)	
Conducted & Radiated EMI	-	EN55011 / EN55022-B, FCC Class B	
Recommended EMI Filter	-	MC1206	MC1210
Weight (Typ)	g	950	2000
Size (WxHxD)	in	2.05 x 4.01 x 7.8"	

Figura 2. 55 Especificaciones de la fuente de energía SWS1000L-60²²

²² TDK Lambda. *Fuentes de Energía SWS 300/600 Series*. [En línea]. Miami 2011 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: < http://us.tdk-lambda.com/lp/ftp/specs/sws300_600.pdf>

2.4 DISEÑO ELECTRÓNICO

Comprende la selección e implementación de los sistemas de control de posición del movimiento en azimut y elevación, a través de los dispositivos electrónicos indicados para el propósito. Además de los diagramas de conexión respectivos.

2.4.1 Descripción del sistema electrónico

Es fundamental entender el funcionamiento en conjunto para establecer la necesidad o no de dispositivos o elementos que realicen las tareas de control electrónico en el sistema de apuntador electromecánico de antenas. Entonces cabe mencionar que se requiere que la antena Teko Telecom P008L se desplace en azimut una vuelta completa (360°) y elevación (0 a 90°), dichos movimientos se consiguen mediante un motor a pasos y un actuador lineal eléctrico respectivamente.

Además se debe implementar el HMI que permita probar el correcto funcionamiento del apuntador electromecánico de antenas a través del computador; antes de acoplarlo a los sistemas electrónicos de posicionamiento automático desarrollados por el CIDFAE para que el apuntador siga la trayectoria del UAV.

2.4.2 Selección del Controlador del Apuntador de Antenas

En cumplimiento con los requerimientos de CIDFAE, se utiliza el Controlador Industrial NI Crio-9014, disponible en el centro de abastecimientos del centro, en vista de que se trabaja permanentemente con equipos de la National Instruments. Este controlador posibilita la comunicación entre el computador y los sistemas de control electrónico de posición del apuntador electromecánico de antenas que se van a desarrollar al poseer un procesador industrial Freescale MPC5200 de 400 MHz para aplicaciones en tiempo real determinísticas y confiables, con entradas de doble suministro de 9 a 35 VDC. ^[14]



Figura 2. 56 Controlador Industrial NI Crio-9014

Una vez determinado el Controlador a utilizar es preciso seleccionar los módulos de expansión necesarios para controlar el movimiento en azimut y elevación, además de que se va a incorporar un encoder.

a. Módulo de expansión NI 9870

El módulo NI 9870 serial añade cuatro puertos RS232 seriales al CompactRIO, su finalidad es enviar la señal digital al controlador ATmega 164P, para que este a su vez envíe a la tarjeta de control de motores a pasos NI P70530 la posición que debe tomar. [15]



Figura 2. 57 Módulo NI 9870 serial

b. Módulo de expansión Ni 9401

El NI 9401 es un módulo bidireccional de entrada digital de 8 canales a 100, necesario para transmitir la señal en PWM hasta la tarjeta controladora de posición en elevación y esta a su vez transmite dicha señal al actuador lineal eléctrico, permitiendo ubicar la posición de elevación requerida a través del HMI.

Se puede configurar la dirección de las líneas digitales para entrada o salida por nibble (4 bits). De esta manera, se puede programar para tres configuraciones - ocho entradas digitales, ocho salidas digitales o cuatro entradas digitales y cuatro salidas digitales. [16]



Figura 2. 58 Módulo de expansión Ni 9401

c. Módulo de expansión Ni 9505

El módulo NI 9505 es un drive de servo motor con puente H completo para conectividad directa a actuadores como motores servo de DC de potencia fraccional, relés, lámparas, solenoides y válvulas, además de que permite la conexión de un encoder; por esto se utiliza esta importante característica del módulo, a fin de disponer de un dispositivo que indique la posición de manera precisa del motor a pasos. El NI 9505 ofrece corriente continua hasta 5 A a 40 °C (o 1 A a 70 °C) a 30 V.



Figura 2. 59 Módulo de expansión Ni 9505

2.4.3 Driver de Control de Posición en Azimut NI P70530

El sistema de control de posición en azimut al motor a pasos se lo realiza mediante la tarjeta controladora de motores a pasos NI P70530 (DC) Danaher Motion, seleccionada del catálogo de elementos disponibles en el centro de abastecimientos del CIDFAE y por medio del micro-controlador ATmega164P. El driver de potencia para motores a pasos NI P70530 permite precisión en el movimiento con un altísimo rendimiento, suavizado dinámico y filtros anti resonancia para movimiento suave. Se puede desarrollar rápidamente el sistema de control de movimiento del motor a pasos al combinar el driver con NI Motion Assistant, software LabView, controladores de movimientos y motores a pasos iguales. [17]



Figura 2. 60 Driver NI P70530 para motor a pasos bipolar

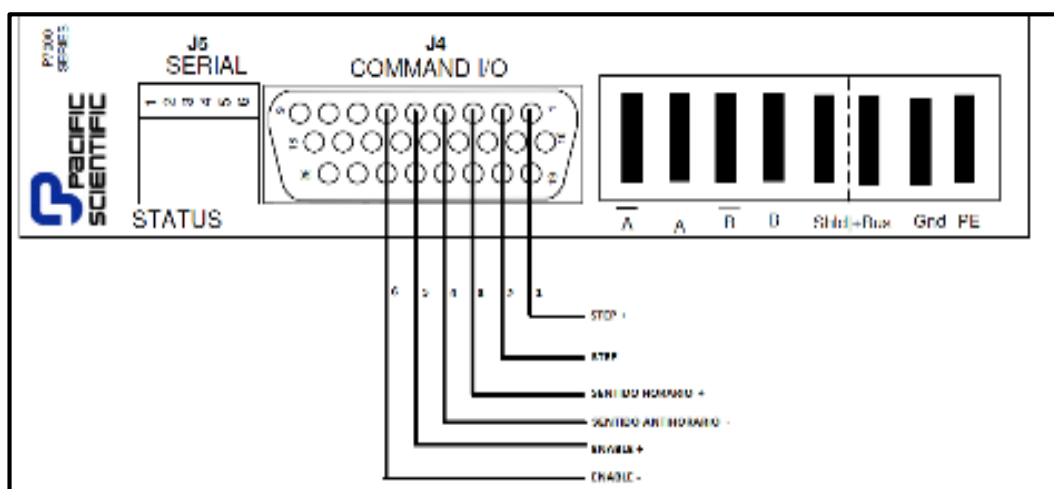


Figura 2. 61 Configuración de pines para control del motor a pasos

En la figura se aprecia la configuración de los pines para realizar el control del motor a pasos, siendo el 5 y 6 (enable) los encargados de activar las bobinas del motor a pasos si se polarizan como lo indica la figura +/- respectivamente, 3 y 4 (sentido) disponen el sentido en que se debe dirigir el motor, esto es horario (3+ / 4-), o anti horario (3- / +4), y finalmente 1 y 2 (step) que dan los pasos requeridos para llegar a la posición ingresada de manera precisa, siempre que se polaricen como lo indica la figura 2.61. Se debe recordar que las señales digitales que activan o desactivan estos pines vienen desde el micro controlador Atmega 164P, cuya configuración se describe a continuación.

2.4.4 Micro-controlador ATmega164P

El ATmega164P es un micro-controlador CMOS de 8 bits de bajo consumo, necesario en el diseño electrónico del apuntador electromecánico de antenas para enviar las señales digitales al driver NI P70530 y controlar la posición en azimut del apuntador, además envía a un LCD 20x4 los siguientes datos: ^[18]

- Tipo de antena que seleccionada (Grande o Pequeña)
- Posición en elevación: (VER) desde 0 a 90°
- Posición en azimut: (HOR) desde 0 a 360°
- Posición en azimut del encoder: (ENC) dada en grados.



Figura 2. 62 LCD 20x4 para calibrar la posición en azimut

Sus instrucciones se ejecutan en un ciclo de máquina, además consigue una velocidad de transferencia de información alrededor de 1 MIPS por MHz, manteniendo un eficaz consumo de energía versus la velocidad de procesamiento. [18]

a. Descripción de Pines

VCC; Alimentación de Voltaje Digital

GND; Tierra

Puerto A (PA7:PA0); El puerto A sirve como entradas analógicas para el conversor Análogo Digital. El puerto A también sirve como un puerto bidireccional de 8 bits con resistencias internas de pull up (seleccionables para cada bit). Los buffers de salida del puerto A tienen características simétricas controladas con fuentes de alta capacidad. Los pines de los puertos A, B, C y D están en tri-estado cuando las condiciones de reset están activadas o cuando el reloj no este corriendo.

Port B (PB7:PB0); El puerto B es un puerto bidireccional de 8 bits de E/S con resistencias internas de pull up. Las salidas de los buffers del puerto B tienen características simétricas controladas con fuentes de alta capacidad.

Port C (PC7:PC0); El puerto C es un puerto bidireccional de 8 bits de E/S con resistencias internas de pull up (seleccionadas por cada bit). Las salidas de los buffers del puerto C tienen características simétricas controladas con fuentes de alta capacidad.

Port D (PD7:PD0); El Puerto D es un puerto bidireccional de entradas y salidas con resistencias internas de pull up (seleccionadas por cada bit). Las salidas de los buffers del puerto D tienen características simétricas controladas con sumideros de fuentes de alta capacidad.

- **RESET;** Entrada del reset. Un pulso de nivel bajo en este pin por períodos de pulso mínimo genera un reset, siempre y cuando el reloj

no esté corriendo. La longitud del pulso mínimo está especificada en las Características y Sistemas de Reset. Pulsos cortos no son garantizados para generar un reset.

- **XTAL1**; Entrada para el amplificador del oscilador invertido y entrada para el circuito de operación del reloj interno.
- **XTAL2**; Salida del Oscilador amplificador de salida.
- **AVCC**; AVCC es la alimentación de voltaje para el pin del Puerto F y el Conversor Análogo a Digital. Este debe ser conectado externamente a VCC, siempre y cuando el ADC no sea usado. Si el ADC es usado, este deberá ser conectado a VCC a través de un filtro paso bajo.
- **AREF**; Está es la referencia para el pin de la conversión Análoga a Digital. [18]

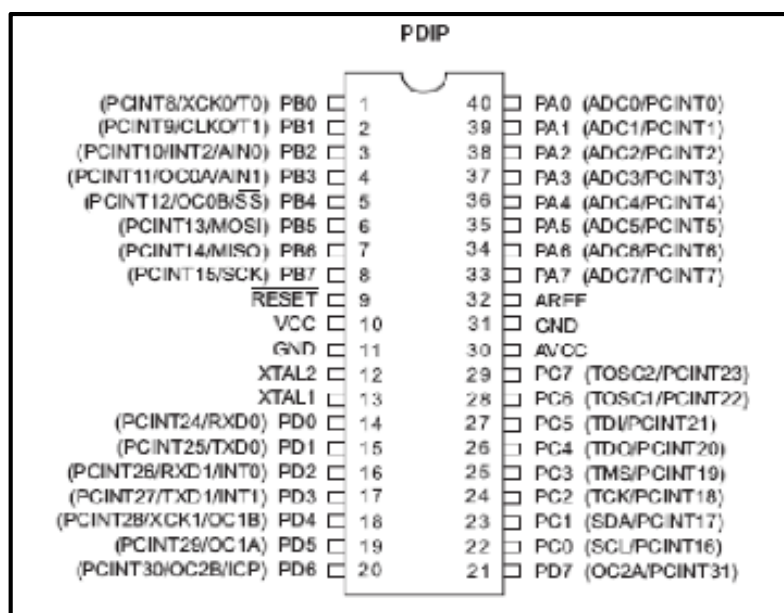


Figura 2. 63 Pines de Salida del ATmega164P/324P/644P²³

²³ ATMEL. *8-bit Microcontroller with 16/32/64KBytes In-System Programmable Flash*. [En línea]. USA 2009 [fecha de consulta: 17 de mayo 2013]. Disponible en: < <http://www.atmel.com/images/doc7674.pdf>>

b. Diagrama electrónico de control mediante software Proteus.

Mediante este práctico software es posible realizar los diagramas de conexión de los circuitos de control a implementar en el apuntador electromecánico de antenas, además de que se puede simular y verificar el correcto funcionamiento de los componentes, a continuación se describen los circuitos implementados:

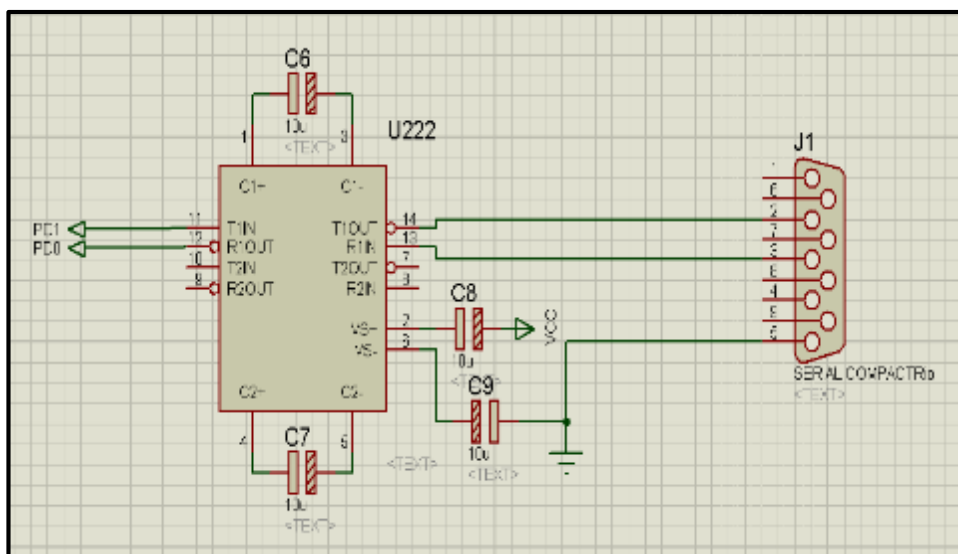


Figura 2. 64 Comunicación tarjeta – Compact Rio

Para establecer comunicación entre el Compact Rio y el micro controlador es necesario un circuito integrado MAX 232 que permite un cambio entre la interfaz serial del Compact Rio y a interfaz Jtag del Atmega 164P; de tal manera que los datos enviados llegan al micro controlador y este a su vez los envía al NI P70530 para controlar la posición en azimut, también recibe los datos del Sensor de Posición inercial, que da la posición exacta en azimut y elevación en grados, además recibe los datos de la posición del encoder que sirve para verificar que la posición ingresada en azimut a través del HMI, es la correcta; estos datos son enviados a visualizarse en el LCD de 20x4 como lo indican las siguientes figuras.

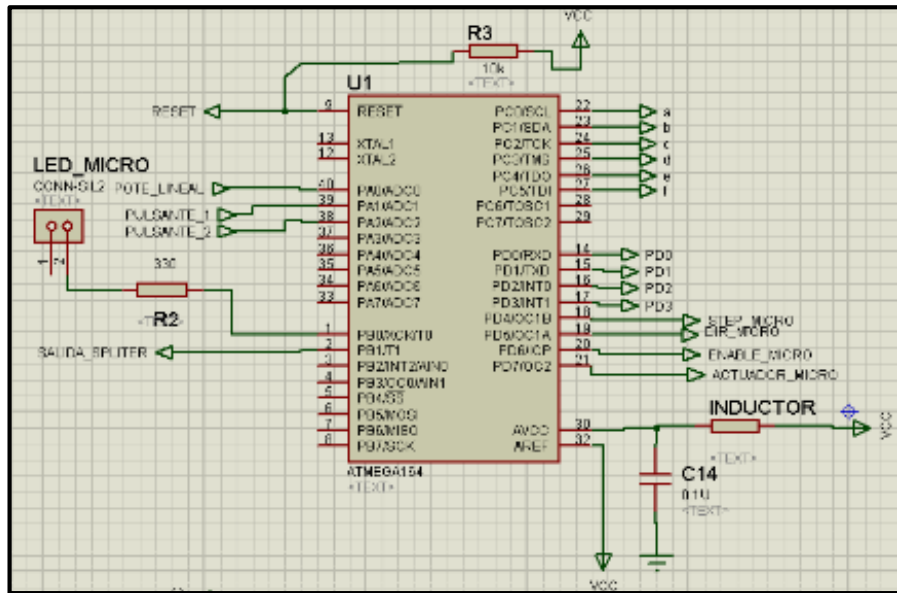


Figura 2. 65 Diagrama de conexiones Atmega 164P

La configuración del micro controlador establece que los pines 18,19 y 20; step-micro, dir-micro y enable-micro respectivamente, envían las señales al módulo NI P70530 encargado de controlar el motor a pasos, como se explicó en la figura 2.61 de este texto.

Además el pin21, denominado actuador-micro recibe la señal en tiempo real de la posición en elevación del actuador lineal eléctrico a través del INS. Los pines a, b, c, d, e, f se conectan directamente al LCD 20x4 instalado y así se visualizan posición en azimut y elevación, tipo de antena y la posición del encoder.

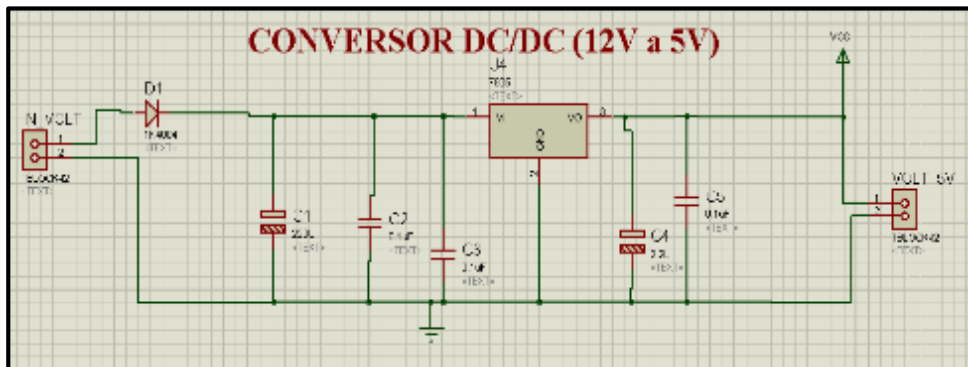


Figura 2. 66 Conversor DC/DC (12 a 5) V

La alimentación del micro controlador Atmega 169P requiere un circuito de conversor digital DC/DC para disminuir el voltaje de 12 v a 5v, en vista de que las características técnicas del micro controlador así lo exigen, cabe mencionar también que el circuito estabiliza la señal DC.

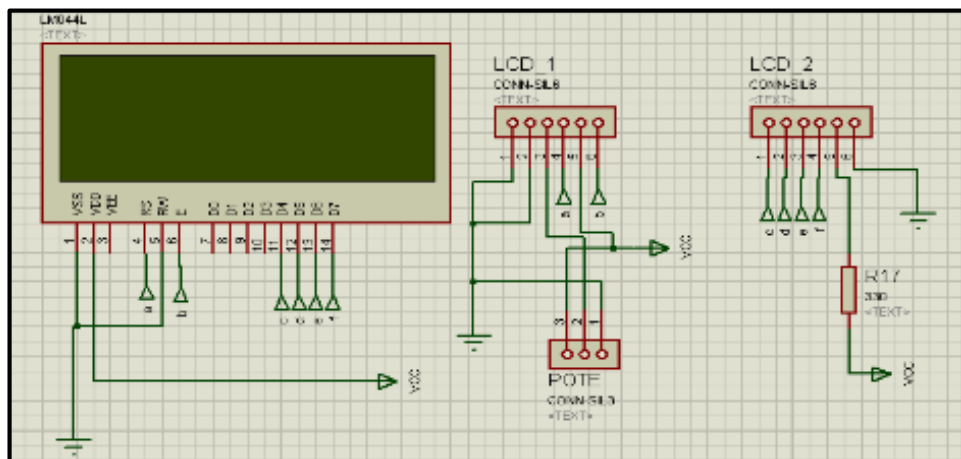


Figura 2. 67 Conexión del LCD 20x4 para calibración

Además el circuito conmutador splitter permite realizar el cambio entre la antena grande Teko Telecom P008L y la antena pequeña, esto se debe a que nuestro apuntador de antenas entra a trabajar una vez que el UAV ha despegado y recorrido 1 km, en ese tramo se trabaja con otra antena pequeña y como ya se explicó se intercambia de antena mediante este circuito conmutable.

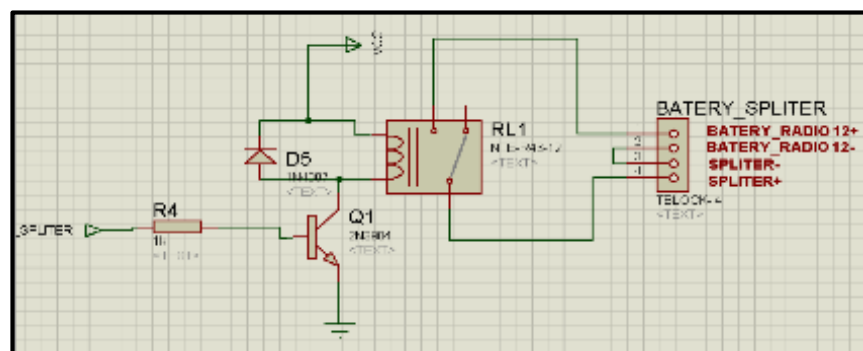


Figura 2. 68 Circuito conmutador splitter

Finalmente se encuentran los circuitos que envían las señales para activar el driver NI P70530 y controlar así la posición en azimut.

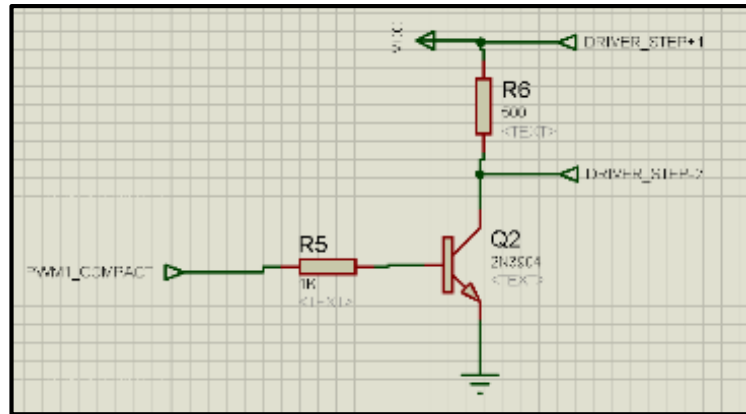


Figura 2. 69 Circuito de control step

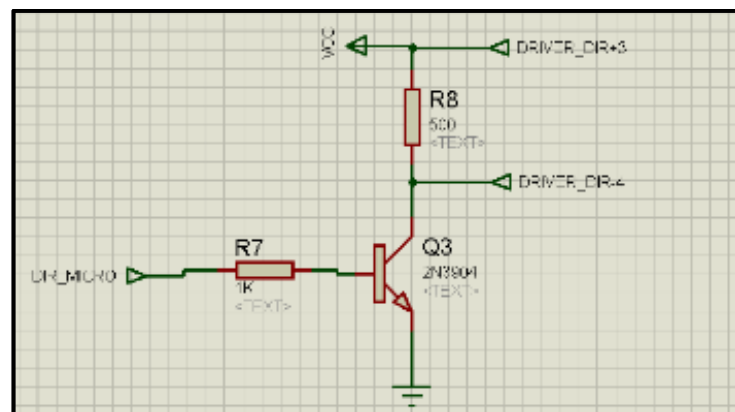


Figura 2. 70 Circuito de control dirección

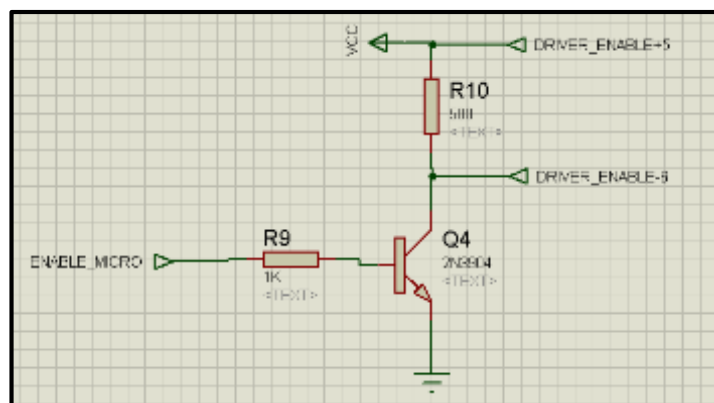


Figura 2. 71 Circuito de control enable/disable

2.4.5 Control de Posición en Elevación

Como se mencionó en la sección 2.1.10, la posición en elevación de la antena está en función de la longitud de carrera del actuador lineal eléctrico, este a su vez depende de la modulación de ancho de pulso que se le dé mediante el módulo NI 9401 al servomotor que genera el movimiento lineal del actuador. La variación de resistencia del potenciómetro multivoltas depende de la posición del actuador pues comparten el mismo un eje solidario con el servomotor.

Los servos son un tipo especial de motor C.C, que se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación. Para ello, el servomotor espera un tren de pulsos que corresponde con el movimiento a realizar. [19]

El estándar de esta señal controladora para todos los servos de este tipo, es un pulso de onda cuadrada de 0.2 milisegundos que se repite a un ritmo entre 2 a 10 ms. Mientras el pulso se mantenga en ese ancho el servo se ubicara en la posición central de su recorrido. Si el ancho de pulso disminuye, el servo se mueve de manera proporcional hacia un lado. Si el ancho de pulso aumenta, en servo gira hacia el otro lado. Generalmente el rango de un servo de estos cubre 90° y 180° de la circunferencia total, o un poco más, según la marca y modelo. [1]

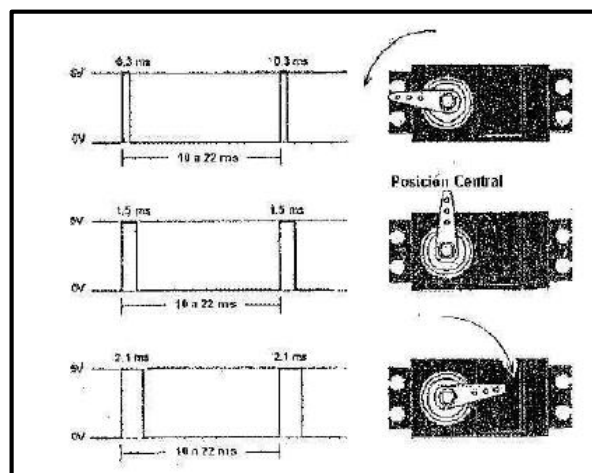


Figura 2. 72 Diagrama de tiempos del funcionamiento de un servo

Por lo tanto se deben escalar las señales, es decir que la variación de la posición angular de la antena quede en función de la variación de ancho de pulso, para ser más precisos, en función de los tiempos en ms que deberá dar la señal en alto para que el servo se mueva y por ende el embolo se desplace a la posición ingresada a través del HMI.

Tabla 2. 15 Posición en elevación de la antena VS tiempos PWM

ϕ (grados)	L (mm)	Resistencia(Ω)	t ON (us)
0	34,15	1308,37	502,67
5	51,2	1811,81	475,77
10	68,08	2310,24	449,88
15	84,68	2800,39	424,99
20	100,9	3279,33	401,10
25	116,65	3744,39	378,20
30	131,87	4193,80	356,31
35	146,48	4625,20	335,41
40	160,42	5036,81	315,52
45	173,62	5426,57	296,62
50	186,05	5793,60	278,73
55	197,65	6136,12	261,83
60	208,37	6452,66	245,94
65	218,19	6742,62	231,04
70	227,07	7004,82	217,14
75	234,98	7238,39	204,25
80	241,89	7442,42	192,35
85	247,79	7616,63	181,45
90	252,65	7760,14	171,55

Se establece que la relación entre la posición en elevación de la antena y los tiempos en milisegundos del ancho de pulso, tienen cierta tendencia lineal, obteniendo la ecuación de la figura 2.75; además se aprecia que para la posición 0° en elevación el tiempo en alto es superior (0.502 ms) que la posición 90° (0.171 ms).

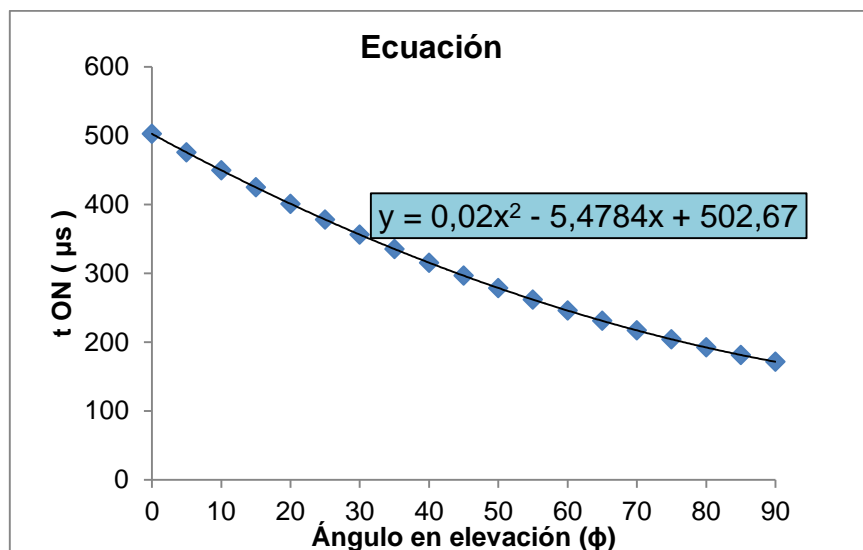


Figura 2. 73 Gráfica de posición en elevación VS PWM

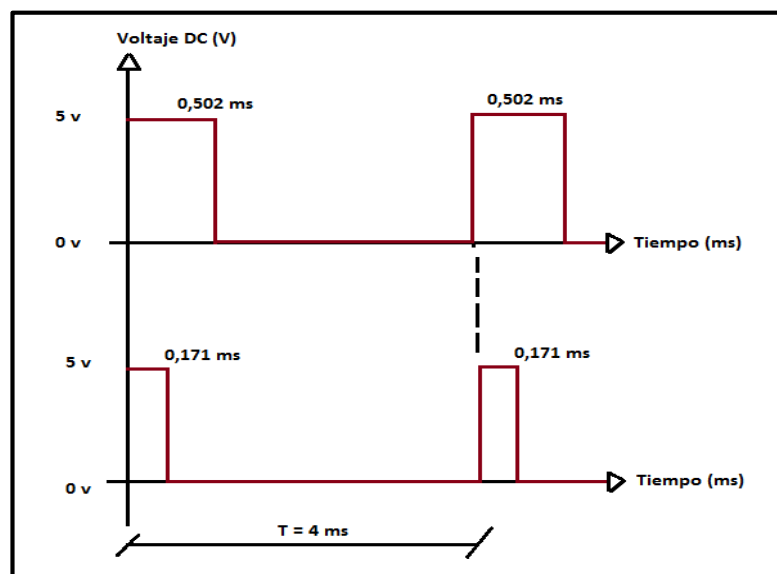


Figura 2. 74 Diagrama de tiempos de funcionamiento del actuador

Con los resultados obtenidos se simula el circuito de control de posición en elevación, considerando que se trabajará con 5 Vdc, entregados por el convertor DC/DC de la figura 2.67.

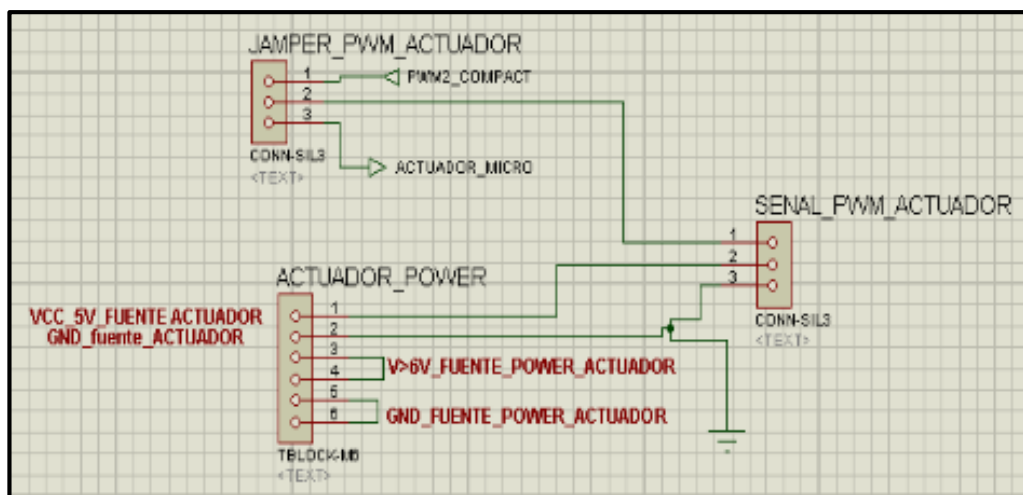


Figura 2. 75 Circuito de control del movimiento en elevación

2.4.6 Programación del Micro-controlador con el software BASCOM AVR.

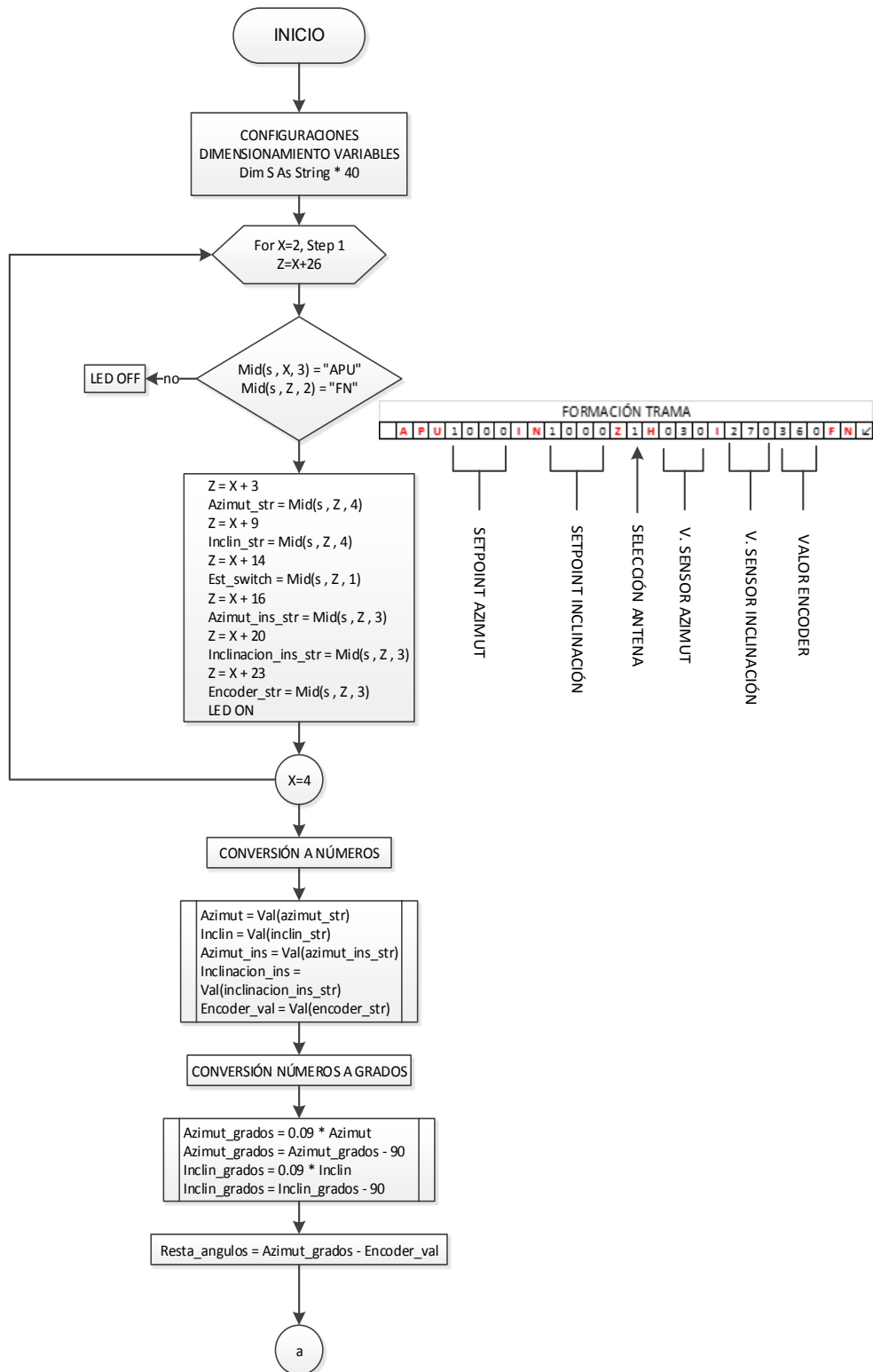
Bascom AVR es el compilador Basic para los AVR. Soporta los AVR de 8 bits, desde los tinyAVR hasta los XMEGA. La sintaxis de sus funciones tiene ciertas diferencias respecto de otros compiladores Basic como MBasic o Proton Plus, pero es fácil de asimilar. Bascom AVR ofrece amplias librerías, incorpora un sencillo simulador, un terminal serial y un excelente software programador de AVR que soporta casi todos dispositivos conocidos como el USB-ISP, FLIP, USBprog/AVR, ARDUINO, etc. [20]

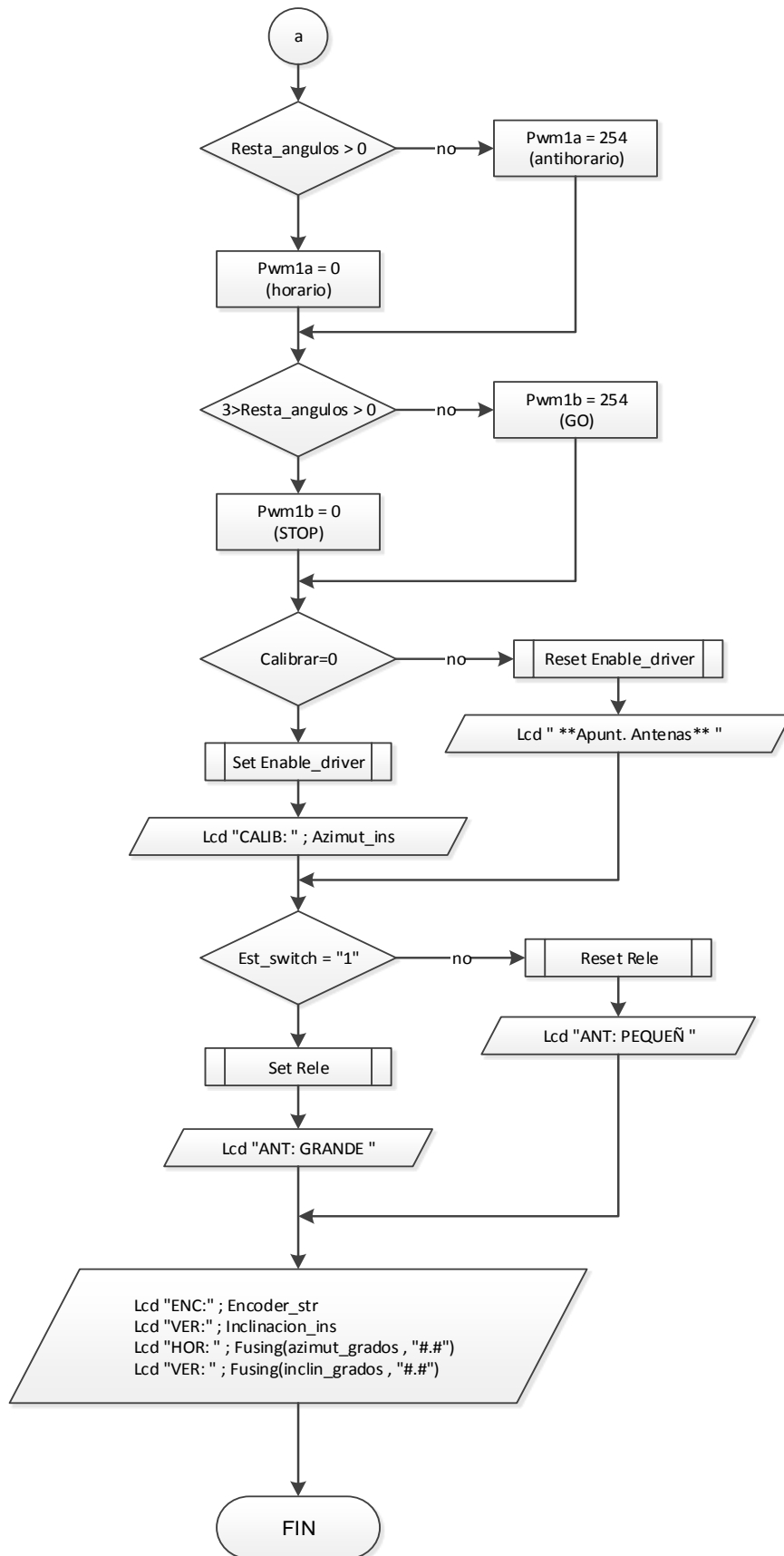
a. Secuencia del circuito de control

“Existen dos formas básicas de control de motores a paso full y half step, en este caso se ha optado por el segundo, así se tiene:

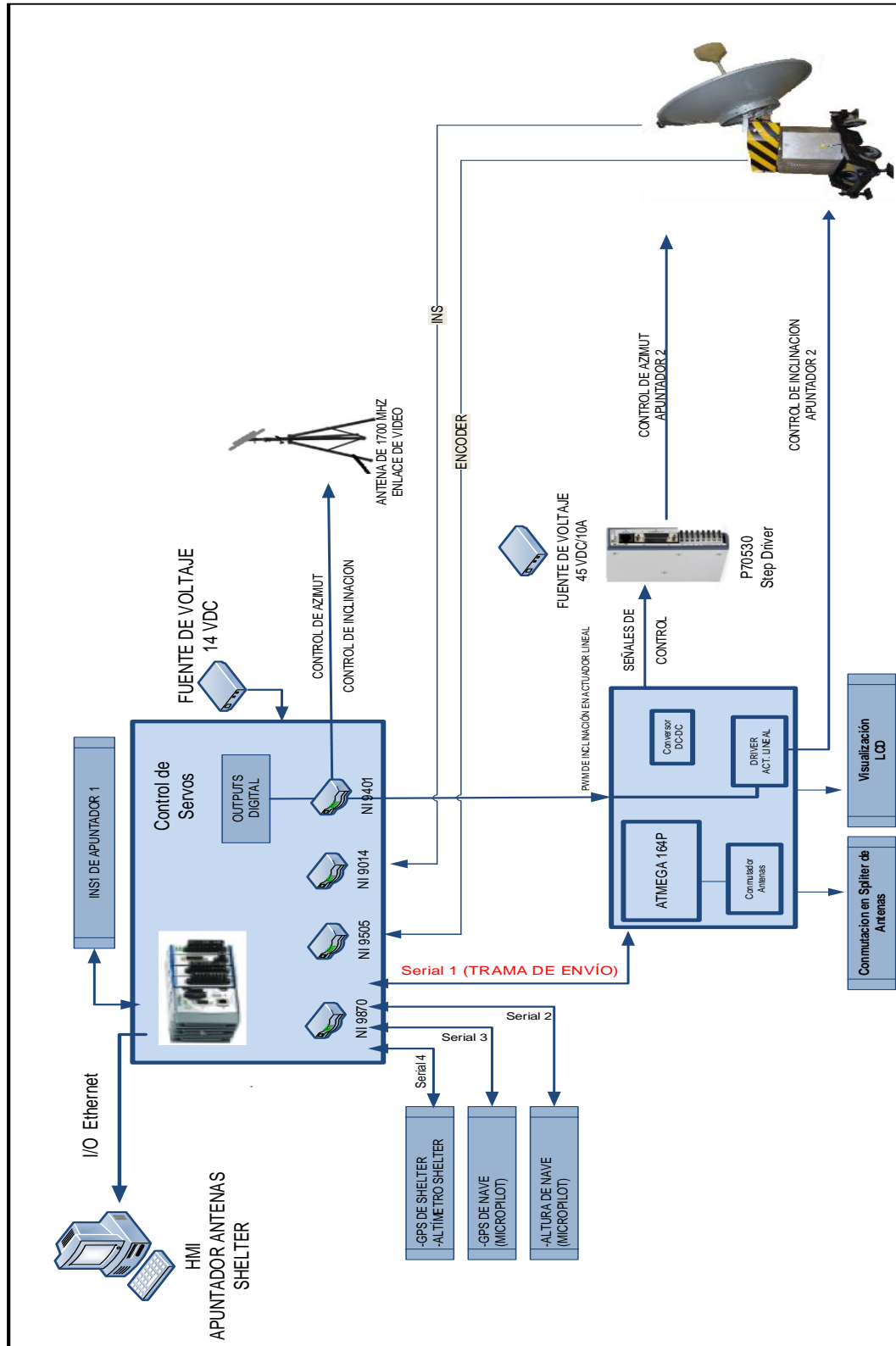
Paso completo (full step): El rotor avanza un paso completo por cada pulso de excitación.

A continuación se puede apreciar el diagrama de flujo correspondiente a la programación del micro controlador Atmega 164P.





2.4.7 Diagrama de implementación del diseño electrónico.



2.4.8 Interface HMI del Sistema de Apuntador Electromecánico de Antenas.

La facilidad enorme de utilizar controlador y módulos de la National Instruments permite incorporar en el HMI diseñado a través de LabView rutinas y subrutinas pre establecidas, diseñadas precisamente para minimizar la programación de la interface. Por tanto la arquitectura se simplifica. Se ha subdividido el proceso de diseño en cuatro partes fundamentales:

a. Formación de la Trama y movimiento en azimut

La formación de la trama consiste en enviar una cadena de caracteres codificados a través del CompactRIO al micro controlador, por comunicación serial RS232. Los datos que se envían están representados en la figura 2.78, la primera cadena (APU) es el inicio de la trama; la segunda (1000) es el valor configurado en azimut por el operador dado en 4 dígitos, siendo por ejemplo 0° equivalente a 1000 y 90° equivalente a 2000; la tercera cadena es una constante (IN) que separa los datos en azimut y elevación. La cuarta cadena representa el valor configurado en elevación por el operador dado en 4 dígitos. La siguiente es una constante (Z) que separa la selección de la antena de lo anterior, siendo 1 la antena grande y 2 la antena pequeña. La siguiente cadena tiene la constante (H) que separa el valor en grados del INS en azimut de la posición de la antena. Posteriormente en la cadena (0 3 0) envía el valor de la posición en azimut, dada en grados del INS, por ejemplo 0 3 0 significa 30° y 3 6 0 significa 360°. Luego está la constante (I) que separa la cadena de la siguiente.

La cadena (0 9 0) representa el valor en grados de la posición en elevación enviada por el sensor inercial, siendo 0 9 0 equivalente a 90°. La cadena (3 6 0) representa el valor de la posición en azimut

en grados enviado por el encoder siendo 3 6 0 equivalente a 360°. Finalmente la cadena (FN) significa el fin de la trama enviada además de que la encapsula.

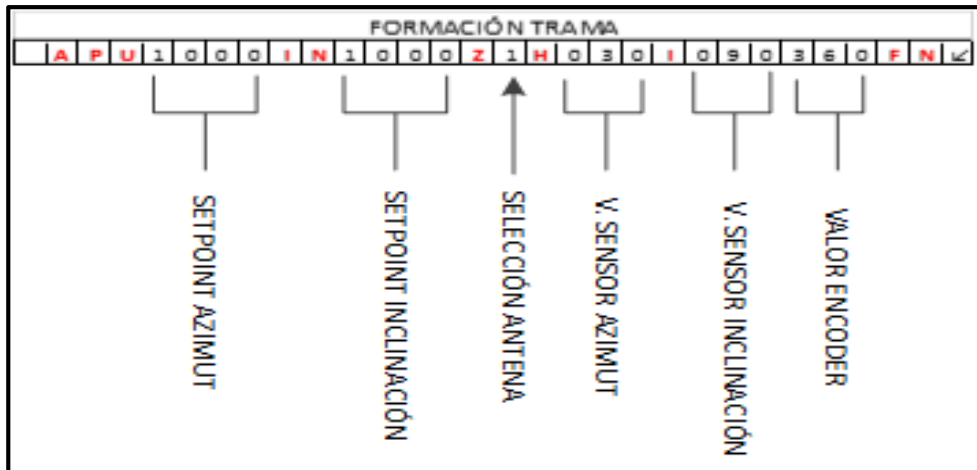


Figura 2. 76 Trama de envío al micro controlador Atmega 164P

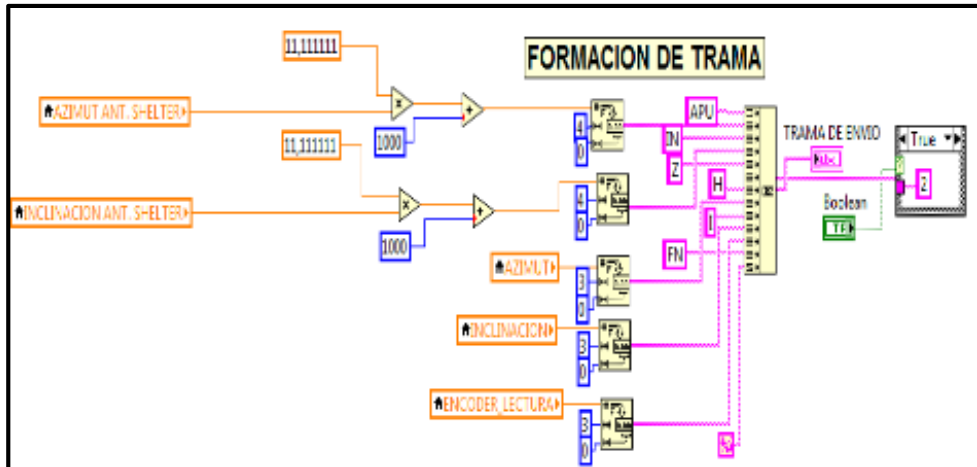


Figura 2. 77 Formación de la trama en LabView

b. Transformación del Encoder

La resolución del encoder es de 0 a -14450, por tanto es necesario transformar dicho dato a un valor en grados, para representar la posición en azimut de la antena. Esta transformación es lineal, siendo 0 equivalente a 0 grados y -14450 igual a 360°.

El valor obtenido de la transformación es un valor numérico que se visualiza en la gráfica de la posición en azimut de la pantalla principal del HMI.

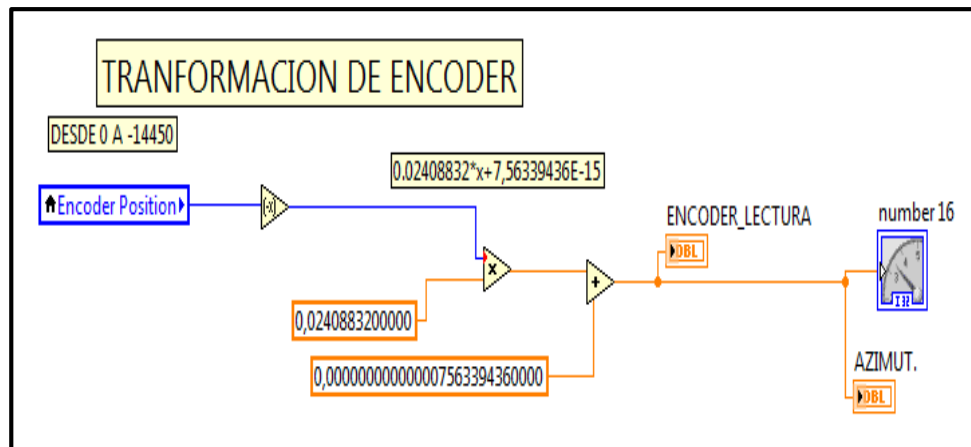


Figura 2. 78 Transformación del encoder en LabView

c. Movimiento en Elevación

La relación entre la carrera del émbolo y la señal PWM que envía el módulo NI 9401 es inversamente proporcional, de acuerdo a la figura 2.73, siendo 502 equivalente a 0° y 172.5 igual a 90°. Se realiza esta transformación a grados mediante la rutina mostrada en la siguiente figura.

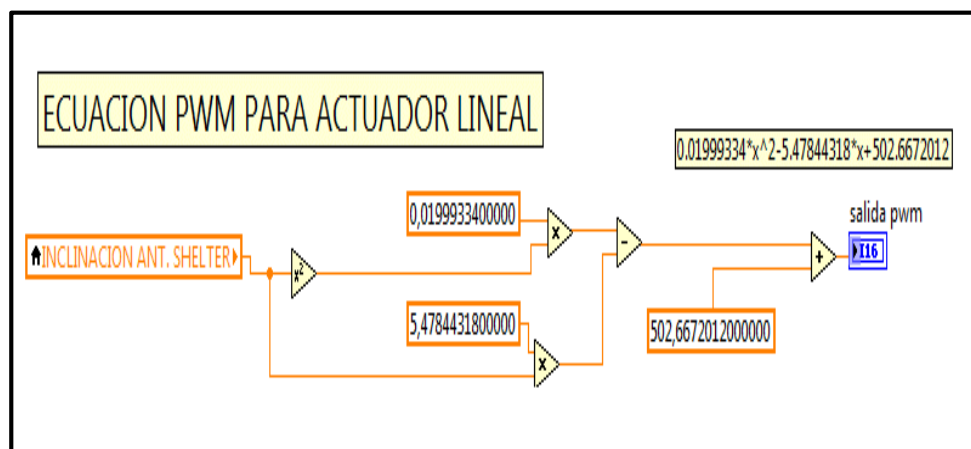


Figura 2. 79 Movimiento en elevación en LabView

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Comprende el detalle de los procesos y procedimientos desarrollados a fin de construir el apuntador electromecánico de antenas y su posterior implementación con los sistemas electrónicos de potencia y control seleccionados para desarrollar los movimientos en azimut y elevación de manera precisa.

3.1 CONSTRUCCIÓN MECÁNICO ESTRUCTURAL

La estructura del apuntador electromecánico de antenas fue diseñada en el capítulo anterior en función de los requerimientos del CIDFAE, partiendo de esto se construyen las partes constitutivas del apuntador, como se indica a continuación:

3.1.1 Estructura superior



Figura 3. 1 Soldadura y acabados de la estructura Superior.

Su finalidad es realizar el desplazamiento en elevación de la antena TEKO Telecom, y además girar en función de la estructura inferior para realizar el movimiento en azimut, debe ser liviana para disminuir el peso, por tanto se utilizó tubo rectangular de 20x20x1.2mm y 25x40x1.2, con este último se unen la estructuras superior e inferior, mediante pernos a fin de poder

desmontarla, el proceso de soldadura utilizado es smaw mediante electrodo E6011 y acabados tipo N9 en todas las superficies.

Se utilizaron cuatro platinas de acero inoxidable AISI 316, 30x6 mm, tipo "L" (en forma de una escuadra) para unir la estructura superior y la antena Teko Telecom. Están empernadas a la estructura para poder desmontarlas y darles mantenimiento, con dos perforaciones de 16mm en los extremos donde por medio de dos pernos de acero inoxidable y rodamientos axiales se consigue el pivote que permite a la antena elevarse.



Figura 3. 2 Montaje de anclajes en la antena y la estructura superior

Además se realizaron tres anclajes en la base de la Antena Teko Telecom, donde se empernan las uniones tipo "L"; el pistón se une mediante un perno largo de 2"x6mm y tuerca de presión, convirtiéndose en un tercer pivote móvil. Todas las partes inoxidables se soldaron mediante proceso smaw con electrodo E308L.

3.1.2 Estructura inferior

Constituida por un hexágono, donde se montan dos rodamientos que soportan el árbol de transmisión para realizar el movimiento en azimut del apuntador electromecánico de antenas. Para construir las bases de la estructura en forma de hexágono se utilizó ángulo de 35x35x3 mm y para

unirlos se utilizó platina de 38x3x4mm que fueron soldadas mediante proceso smaw con electrodo E7018.



Figura 3. 3 Proceso de construcción de la estructura inferior

En los extremos de la estructura inferior se montaron planchas galvanizadas de 6.35 de espesor las mismas que tienen como objetivo soportar la estructura superior y los rodamientos cónicos. La plancha galvanizada fue perforada en cada extremo para poder sujetarla, las perforaciones son de $\frac{1}{4}$ " y los pernos son de acero inoxidable grado 6 por un largo de $\frac{1}{2}$ "; en el centro de las planchas se perforo la tapa superior con un orificio de 35mm y la tapa inferior con un diámetro de 70mm. La finalidad de las perforaciones es que brindar un espacio para el cableado de los equipos de control y potencia colocados en la estructura superior.

3.1.3 Árbol de transmisión



Figura 3. 4 Montaje del árbol de transmisión a la estructura inferior

El eje principal fue construido en un tubería de acero inoxidable 316 con un diámetro de 3" x 420 en cada uno de sus extremos se procedió a tornearse para ajustar a los rodamientos. El eje principal fue alineado con las tapas inferior y superior de la estructura percatándose que no existiera excentricidad; en la parte superior del eje principal se puso una placa de 6.35mm que hará contacto con la estructura superior y permite el movimiento en azimut del apuntador electromecánico de antenas.

El sistema de transmisión de cono y corona con dientes rectos tiene una relación cuatro a uno con la finalidad de aumentar el torque y disminuir la velocidad de acuerdo al diseño mecánico previamente realizado. Para su acoplamiento al sistema fue necesario tornearse la base de la corona y luego rectificarla. El cono fue acoplado en el motor por medio de dos prisioneros. Para alinear el cono y corona fue necesario construir una base de forma rectangular con un orificio en el extremo superior.



Figura 3. 5 Sistema de transmisión con engranajes cónicos de dientes rectos

3.1.4 Estructura de soporte y desplazamiento

Para trasladar el apuntador electromecánico de antenas se construyó esta estructura con tubería cuadrada de 50x50x1,2 mm de acuerdo a los planos desarrollados en el capítulo de diseño mecánico.

El diseño permite ubicar las cuatro garruchas de 6" de manera simétrica, en la estructura, además de que no tienen contacto con la antena cuando realiza el movimiento en azimut. Estas garruchas se acoplan a la estructura mediante cuatro placas de 4mm de espesor y con cuatro perforaciones de 5/16"; fueron centradas y soldadas en los puntos determinados en el plano con proceso tipo smaw, electrodo E6011.



Figura 3. 6 Construcción de la estructura de soporte y desplazamiento

3.1.5 Niveladores mecánicos del apuntador

En los extremos de la estructura móvil se realizaron cuatro perforaciones de 25mm de diámetro, donde se construyeron cuatro bocines de 25mm de diámetro externo y 22mm de diámetro interno y con un largo de 50mm; en sus extremos el bocín fue soldado con electrodo E6011 y pulido. Además se construyeron cuatro pernos de 22mm de diámetro en acero AISI 1018 con un largo de 7" y paso 1.25. En la parte superior del perno se torneó una guía para que sirva de entrada y salida tiene un largo de 25mm y un diámetro de 20mm.

En la base de la estructura móvil se soldó cuatro tuercas donde los pernos se desplazarán, subiendo o bajando el apuntador electromecánico de antenas.



Figura 3. 7 Montaje de los niveladores mecánicos del apuntador

3.1.6 Acople del Actuador Lineal

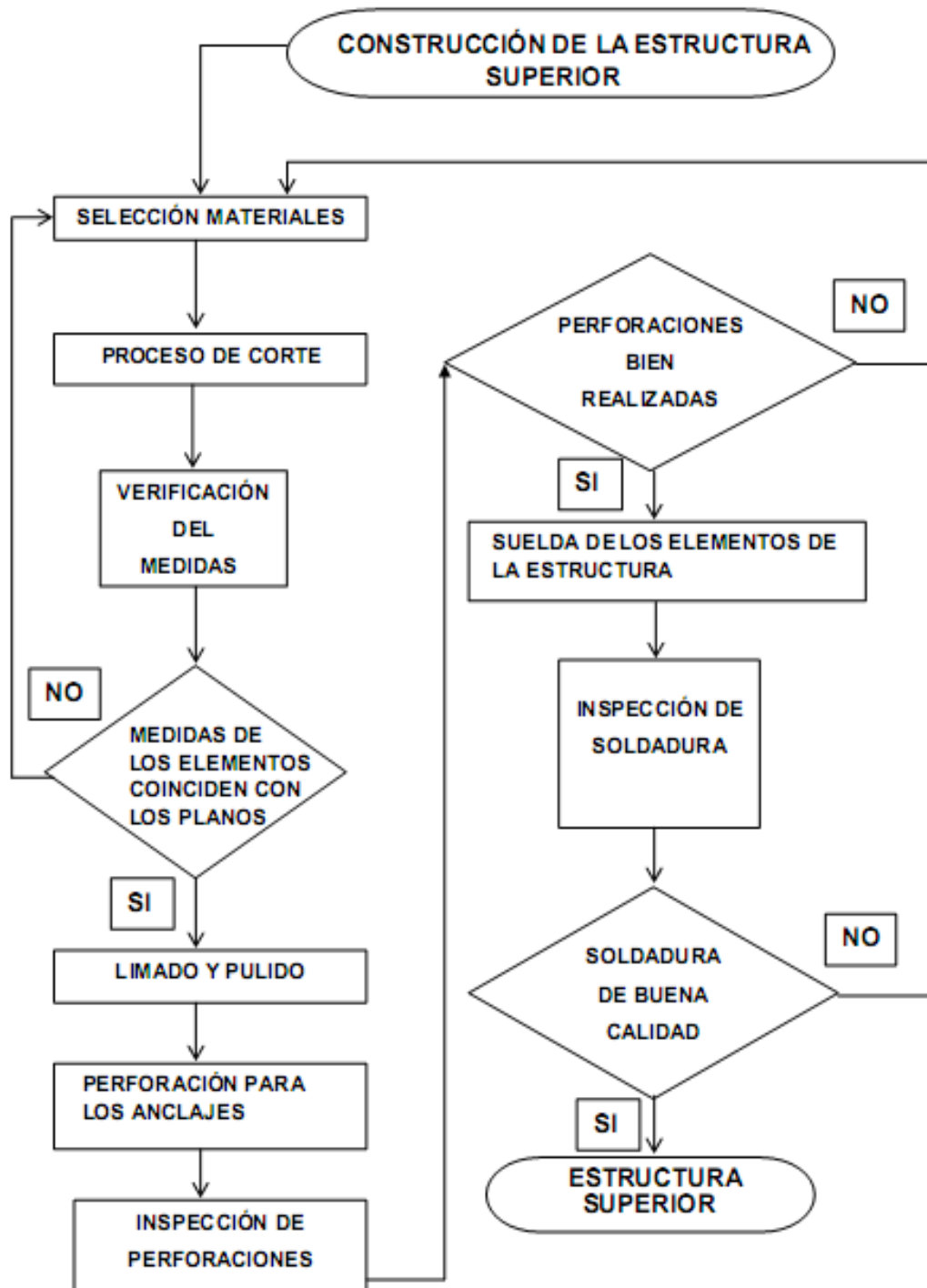
Este elemento es fundamental en la estructura pues permite que el actuador lineal eléctrico se eleve mientras su émbolo se libera y así se consigue el movimiento la elevación requerida por el sistema de apuntador electromecánico de antenas. Se construyó en placa de ST 37 con un espesor de 10mm. Tiene medidas de 44x44mm en uno de sus extremos y se realizó dos perforaciones de 12mm donde reposan los rodamientos de canastilla de numeración 5k75. En la parte interna de los rodamientos de canastilla se puso un pasador de 2 ½, además en el extremo se torneo un canal para instalar un seguro de accionamiento interno.



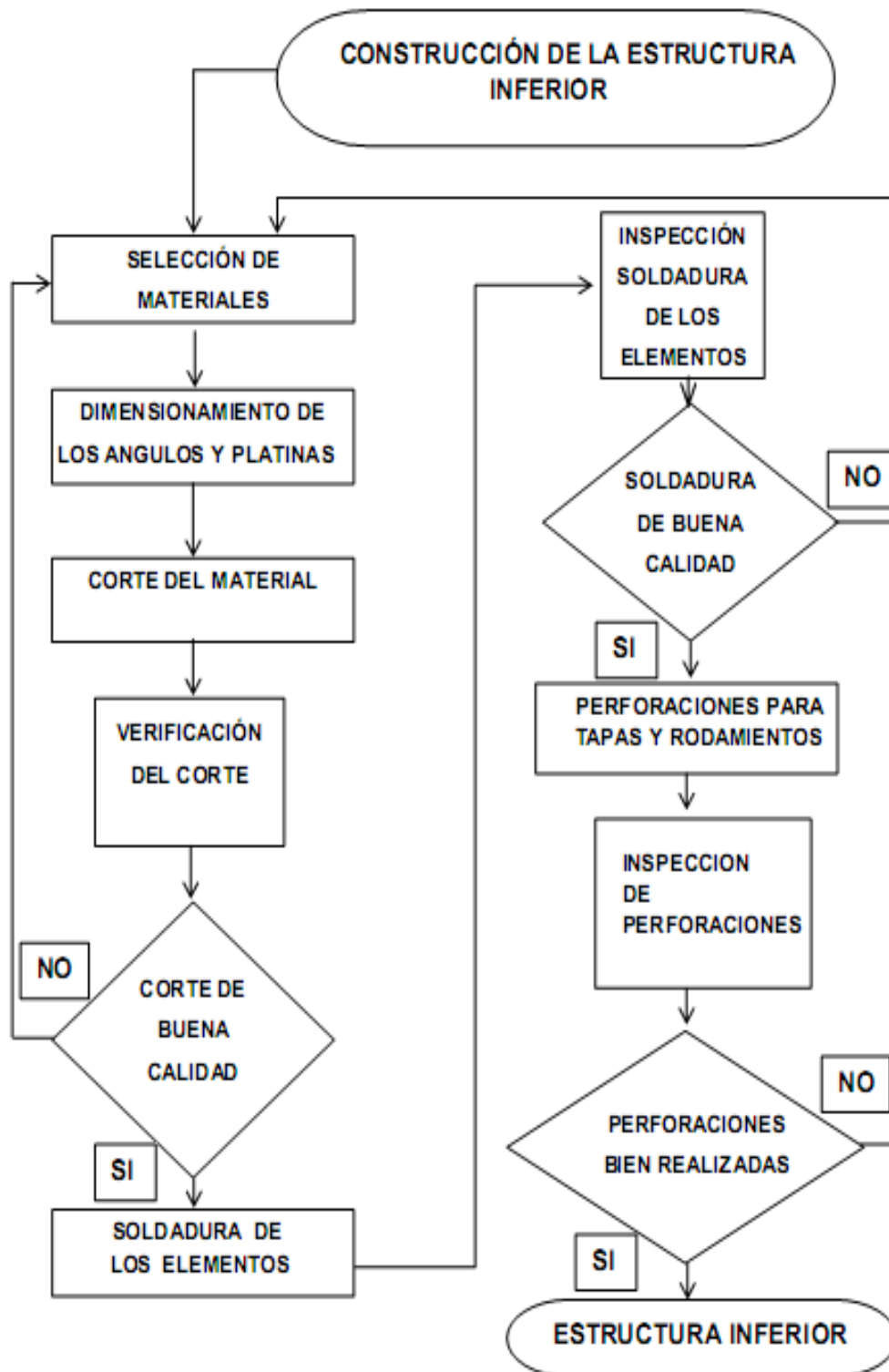
Figura 3. 8 Acople del actuador lineal montado en la estructura

3.2 DIAGRAMA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

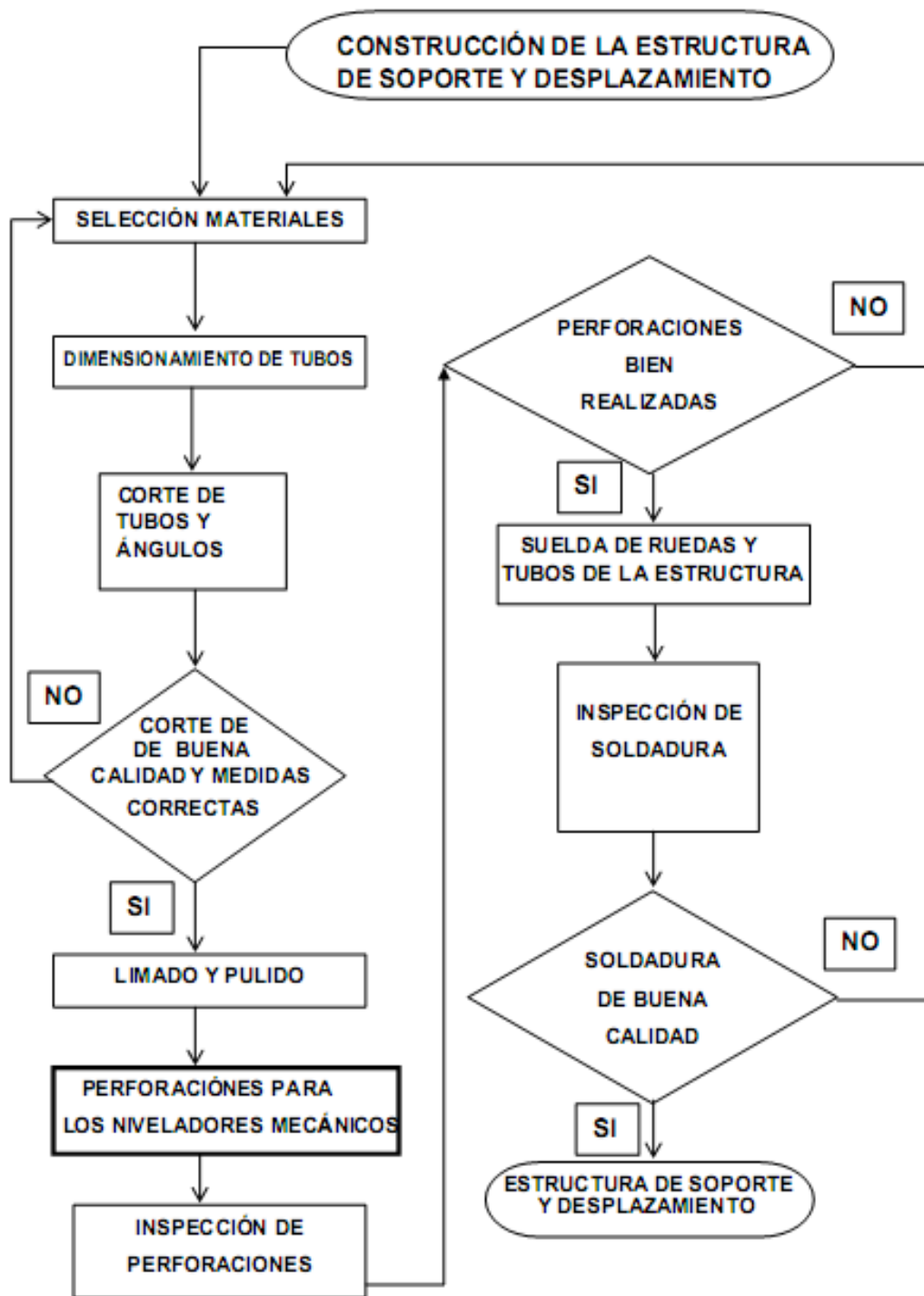
3.2.1 Diagrama de Procesos de la Construcción de la estructura superior.



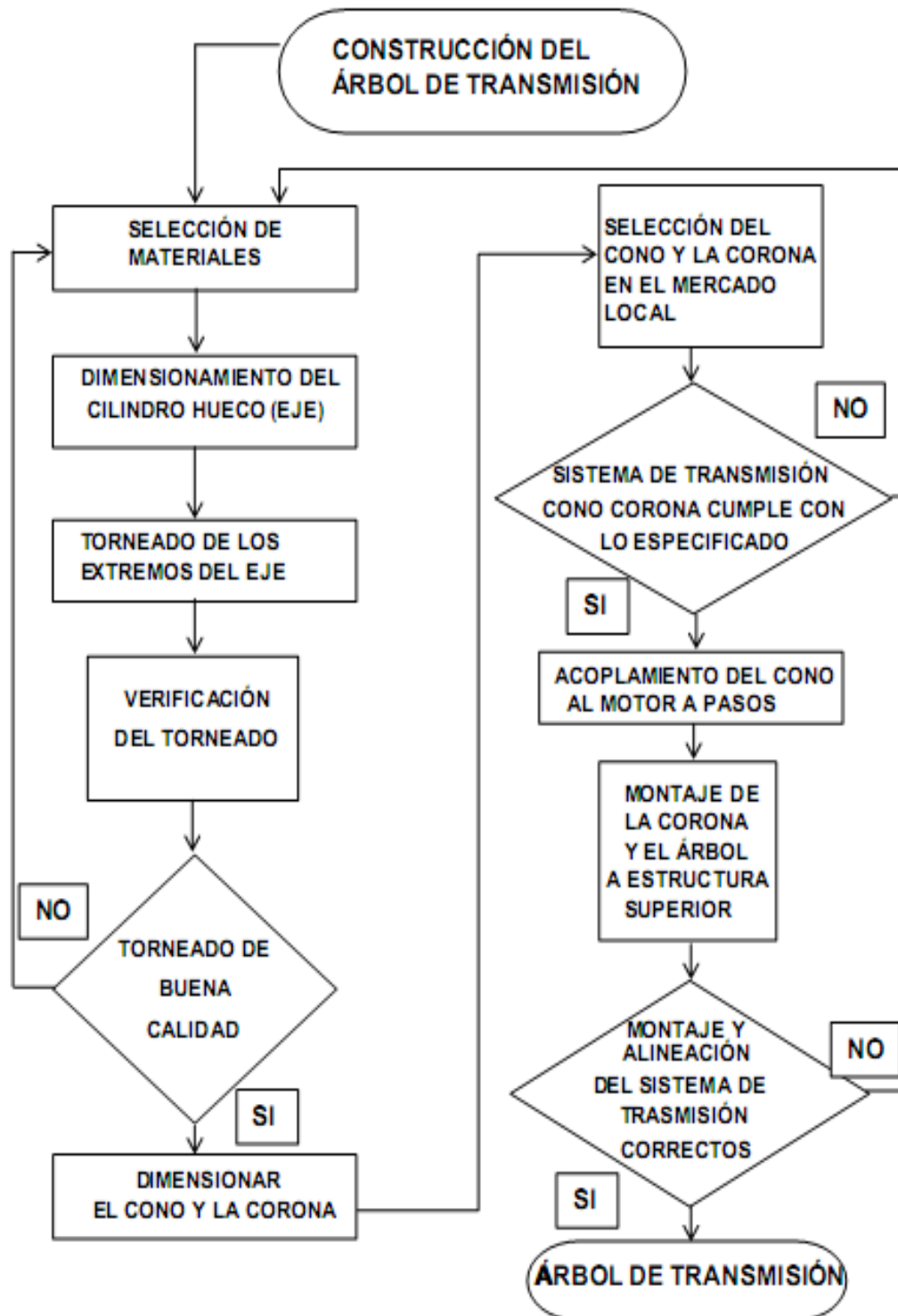
3.2.2 Diagrama de Procesos de la Construcción de la estructura inferior.



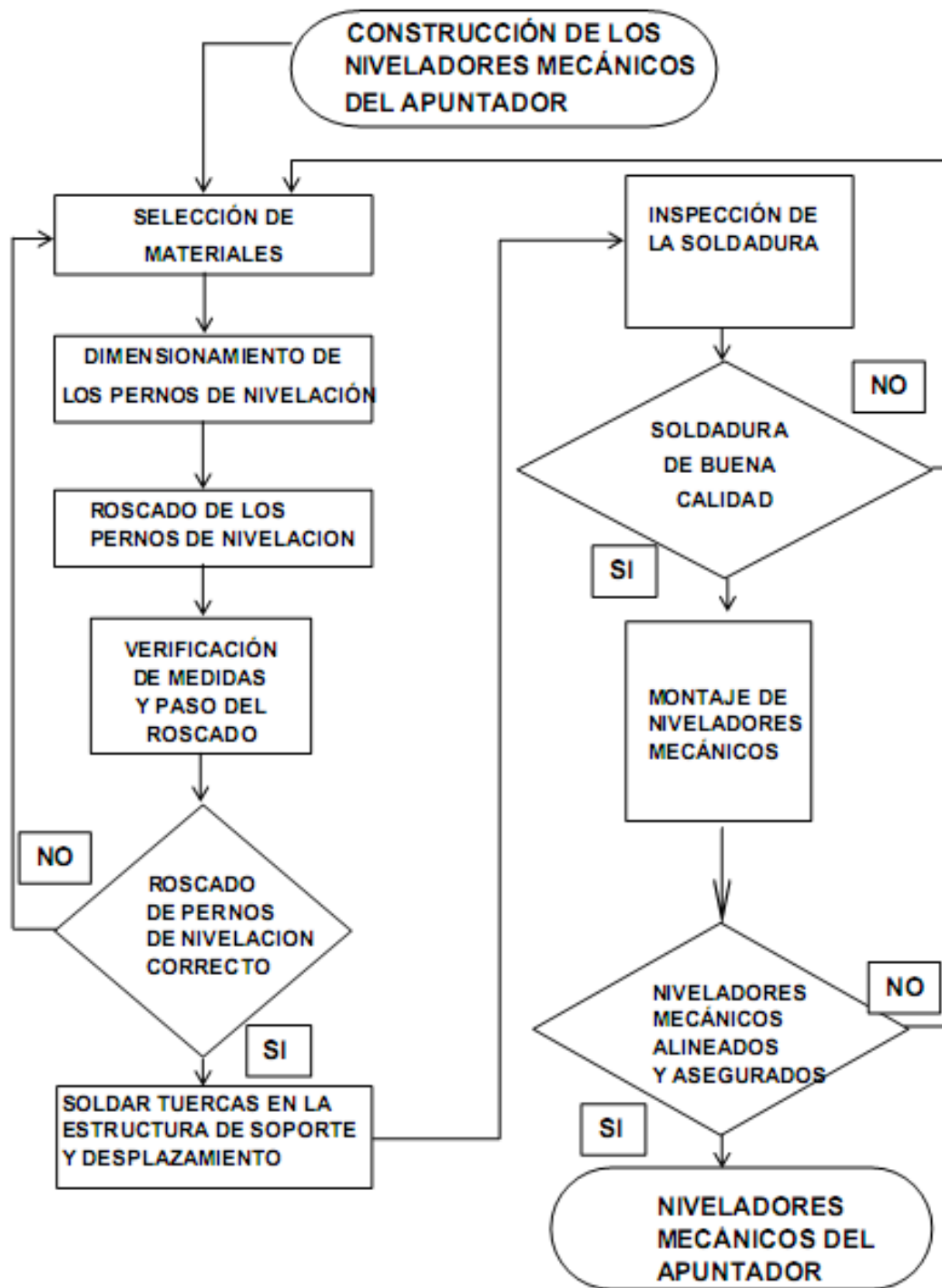
3.2.3 Diagrama de Procesos de la Construcción de la estructura de soporte y desplazamiento.



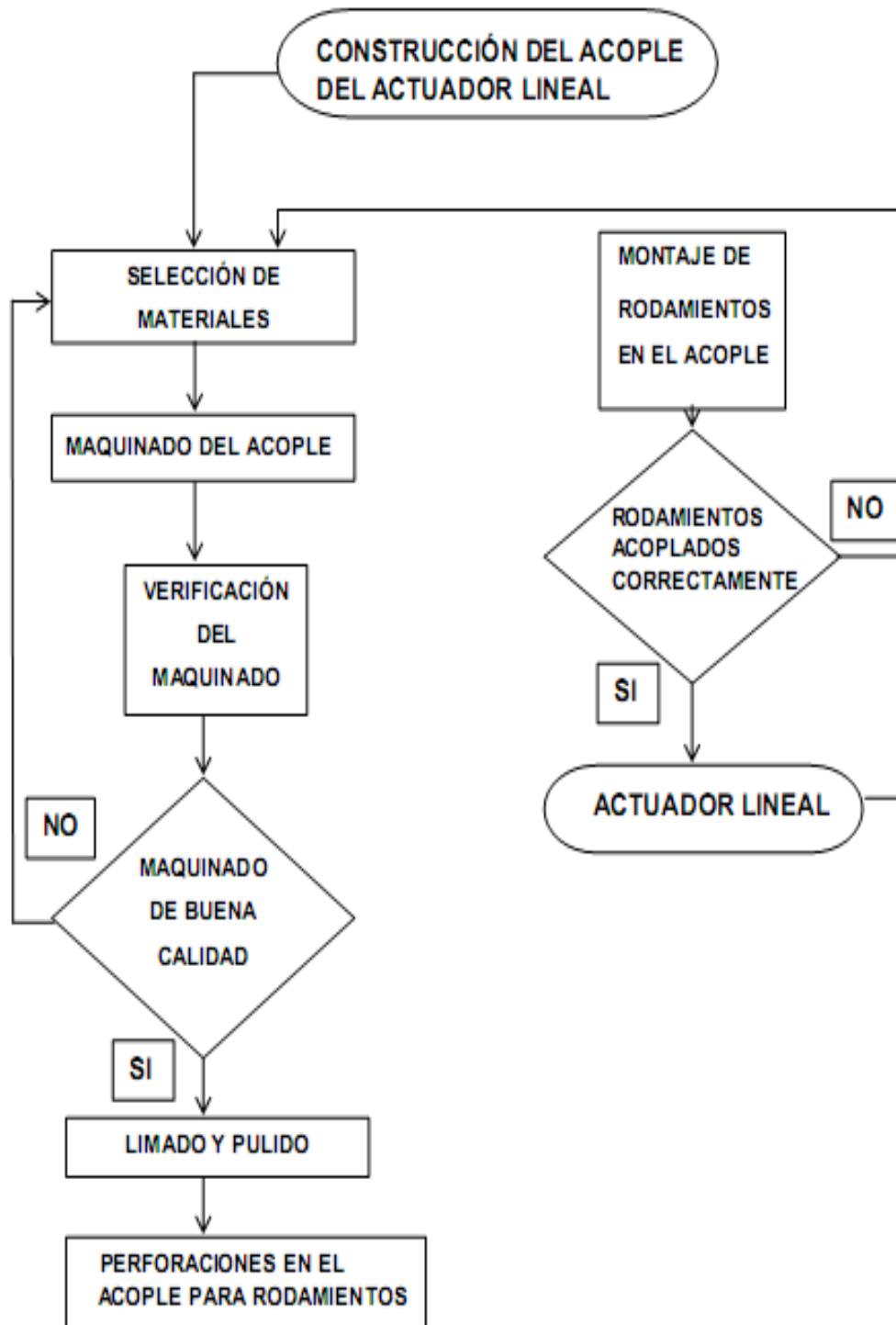
3.2.4 Diagrama de Procesos de la Construcción del árbol de transmisión.



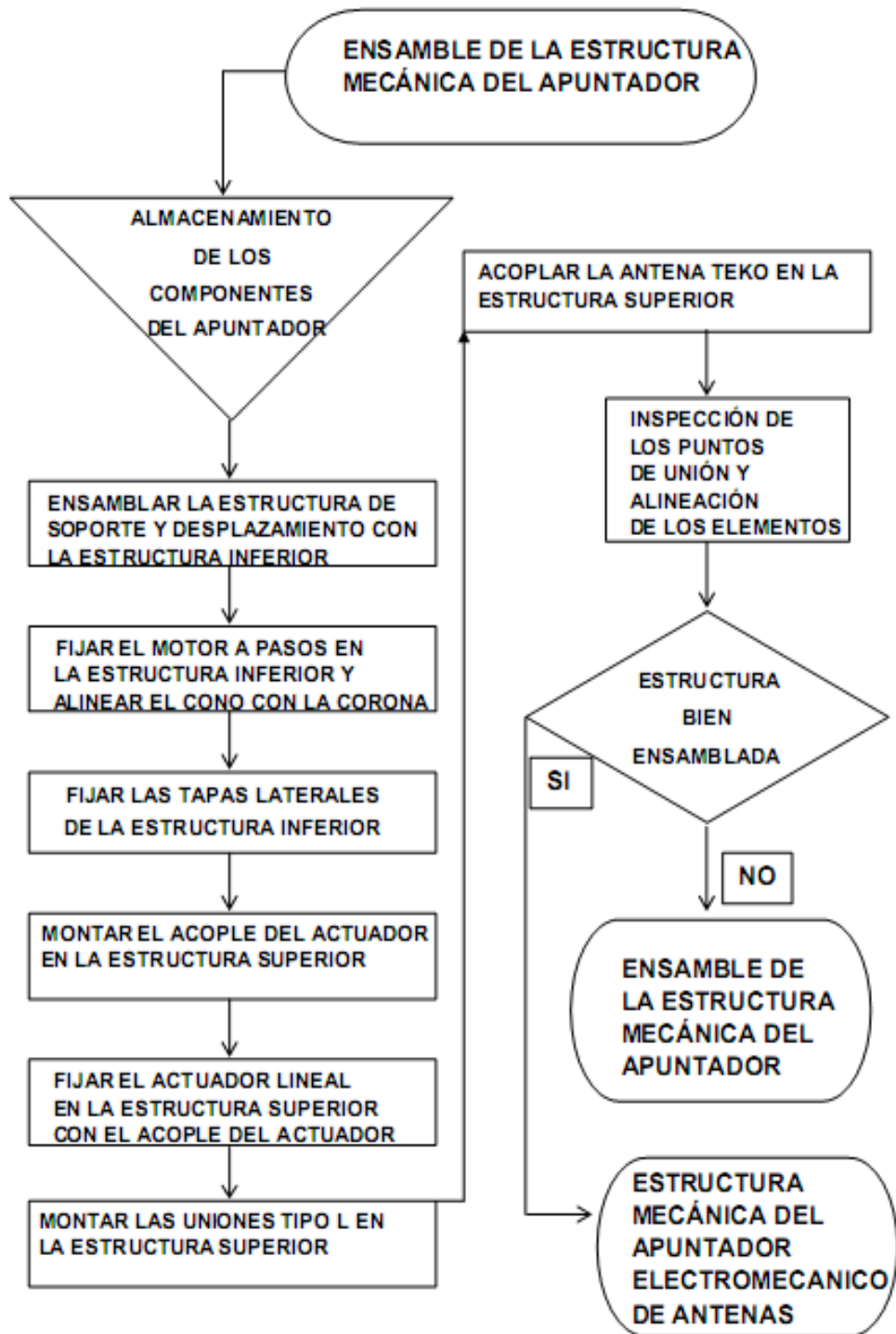
3.2.5 Diagrama de Procesos de la Construcción de los niveladores mecánicos del apuntador.



3.2.6 Diagrama de Procesos la Construcción del acople del actuador lineal eléctrico.



3.2.7 Diagrama de Procesos del ensamblaje de la estructura mecánica del apuntador electromecánico de antenas.



3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA

El control de posición en azimut y elevación del apuntador electromecánico de antenas requiere circuitos de control y potencia instalados ergonómicamente en la estructura, a continuación se detalla el proceso de implementación de estos elementos en el sistema.

3.3.1 Cableado en la estructura superior

En la estructura superior existen dos componentes fundamentales, la antena y el actuador, este último posee cinco cables, 3 de control y 2 de potencia (12V), mientras que la antena tiene su cable coaxial; el conjunto de cables debe bajar a la estructura superior donde se encuentra la fuente de energía y la circuitería de control, esto se consigue con un arnés militar conectado como se aprecia en la figura 3.9.

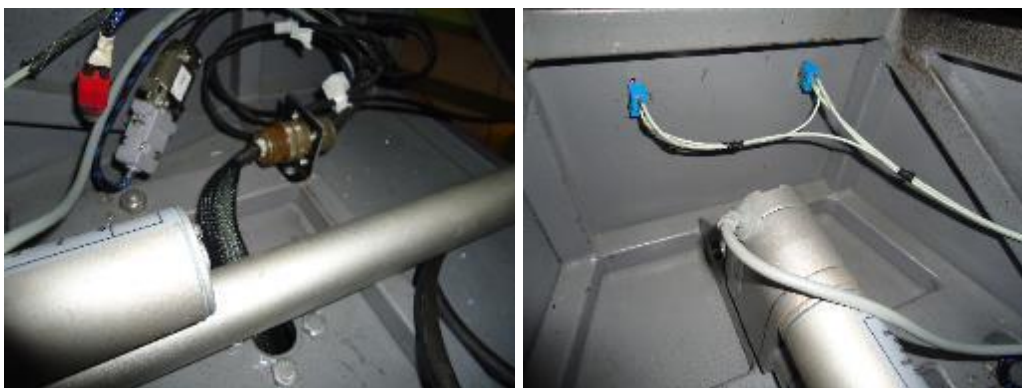


Figura 3. 9 Implementación eléctrica en la estructura superior

3.3.2 Conexiones eléctricas en la estructura inferior

Aquí se aloja el alma del apuntador electromecánico de antenas, esto es la fuente de energía y los controladores de posición en azimut y elevación, además de un LCD que permite visualizar en tiempo real la posición de la antena. El montaje de los componentes obedece al diseño previamente realizado en la estructura mecánica de tal forma que el espacio existente

permita un fácil acceso a los elementos y mediante un minucioso procedimiento se colocó cada cable con su respectiva protección, asegurando su resistencia a las condiciones adversas de trabajo a las que será sometido el apuntador electromecánico de antenas.



Figura 3. 10 Implementación eléctrica en la estructura inferior

Además se instalaron 2 persianas de ventilación en la estructura con el fin de disminuir la temperatura en el interior, ya que los controladores, la fuente de energía y el motor a pasos generan calor que debe ser controlados; se debe considerar también que el apuntador electromecánico de antenas es para uso militar y por ende exige un nivel superior de seguridad en cuanto al cableado y conexiones eléctricas.



Figura 3. 11 Conexiones eléctricas en la estructura inferior

La parte final es asegurar los cables a la estructura de manera ergonómica, posteriormente se monta la antena Teko Telecom en la estructura superior, con el émbolo del actuador lineal eléctrico recogido, y el sistema desenergizado. Finalmente se obtiene el sistema de apuntador electromecánico de antenas conformado en su totalidad mostrado en la siguiente figura:



Figura 3. 12 Apuntador Electromecánico de Antenas

El diseño y construcción del Apuntador Electromecánico de Antenas cumple con los requerimientos del CIDFAE y satisface las necesidades planteadas en el apartado 2.1.1 literales a y b.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

En función del diseño e implementación del apuntador electromecánico de antenas, en este capítulo se realizan las pruebas de funcionamiento de hardware y software, para determinar si los resultados obtenidos satisfacen los objetivos planteados en el proyecto.

4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE HARDWARE

Se define como hardware del apuntador electromecánico de antenas, los componentes físico – mecánicos que comprenden el sistema, por tanto sus pruebas de funcionamiento son el movimiento en azimut y en elevación.

4.1.1 Movimiento en azimut

El movimiento en azimut lo realiza un motor a pasos bipolar, mediante un sistema de reducción engranajes cónicos con un valor de 1:4. Para este movimiento se configurará el ángulo en azimut en la interfaz HMI realizada en LabView a intervalos propuestos en cada una de las pruebas y mediante el INS (Sensor de posición inercial) se realizara la respectiva comprobación. Esta prueba radica principalmente en verificar si el ángulo introducido por teclado como setpoint corresponde a la realidad, hay que aclarar que las transformaciones para este movimiento se la realizaron por software en el diagrama de bloques de la interfaz HMI mediante algoritmos gráficos de programación, debido a que el motor a pasos obedece cierto número de pulsos para girar, que luego serán ejecutadas por el controlador NI P70530 Danaher Motion.

a. Prueba 1 azimut

Para la primera evaluación de resultados se escogió un intervalo 8 grados de variación del azimut, hay que resaltar que la prueba se realizó con todos los equipos puestos en la estructura superior y la

antena P008L en posición horizontal, además se niveló el sistema mecánico de apuntamiento de antenas, con la ayuda de los cuatro tornillos de potencia instalados en cada una de los vértices del chasis, para que no exista influencia de cualquier pendiente en el piso de tal forma que se mueva sobre un área totalmente plana. El error que se muestra a la derecha de la columna de los ángulos medidos en la realidad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{Ángulo Teórico} - \text{Ángulo Medido}}{\text{Ángulo Teórico}} \right| \times 100 \quad \text{Ec. 2.33}$$

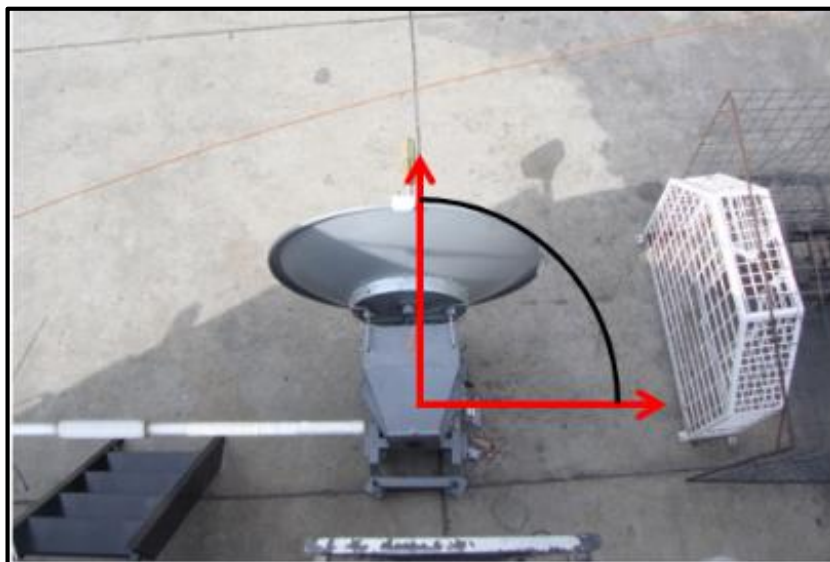


Figura 4. 1 Prueba 1 del movimiento en azimut

Tabla 4. 1 Datos registrados en la prueba 1 - azimut

Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)
8	7,89	1,38	128	127,68	0,25	248	245,56	0,98
16	15,77	1,44	136	135,34	0,49	256	255,46	0,21
24	24,70	2,92	144	143,35	0,45	264	263,77	0,09

32	32,05	0,16	152	151,07	0,61	272	270,24	0,65
40	41,02	2,55	160	158,22	1,11	280	278,47	0,55
48	49,22	2,54	168	165,28	1,62	288	287,29	0,25
56	55,71	0,52	176	174,89	0,63	296	294,66	0,45
64	64,97	1,52	184	183,23	0,42	304	302,23	0,58
72	73,02	1,42	192	190,02	1,03	312	310,71	0,41
80	80,90	1,13	200	198,34	0,83	320	317,17	0,88
88	88,00	0,00	208	205,96	0,98	328	325,83	0,66
96	95,58	0,44	216	215,01	0,46	336	334,94	0,32
104	105,05	1,01	224	220,74	1,46	344	332,38	3,38
112	114,0	1,79	232	231,46	0,23	352	350,08	0,55
120	119,76	0,20	240	237,78	0,93	360	357,59	0,67

b. Prueba 2 azimut

Para esta prueba se aumentó el intervalo a 24 grados de variación del azimut, de la misma manera realizó con toda la carga en la estructura superior y la antena P008L en posición horizontal con respecto al eje perpendicular, la intención era simular idénticas condiciones tratando que el motor paso a paso venza la inercia rotacional de una manera aceptable sin que supere sus parámetros de torque y corriente de operación, como se había calculado en el capítulo de diseño.

Tabla 4. 2 Datos registrados en la prueba 2 - azimut

Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)
24	23,97	0,13	144	142,35	1,15	264	261,43	0,97
48	47,22	1,63	168	165,41	1,54	288	285,47	0,88
72	70,29	2,37	192	190,05	1,02	312	310,07	0,62

96	93,23	2,89	216	214,37	0,75	336	330,85	1,53
120	117,41	2,16	240	237,22	1,16	360	356,22	1,05

c. Prueba 3 azimut

Similar a las pruebas anteriores con una misma referencia de 0 grados, el intervalo se modificó a 45 grados de variación del azimut, para verificar su exactitud y sobre todo si hubiere algún tipo de falla en el funcionamiento del mecanismo de movimiento en azimut o algún sobre esfuerzo del motor seleccionado para esta operación.

Tabla 4. 3 Datos registrados en la prueba 3 - azimut

Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)
0	0	0	135	132,41	1,92	270	268,24	0,65
45	44,26	1,64	180	178,22	0,99	315	311,76	1,03
90	90,50	0,56	225	223,39	0,72	360	357,23	0,77

4.1.2 Movimiento en elevación

El movimiento en elevación, o lo que en aviación se lo conoce como movimiento del pitch o cabeceo, se lo realiza mediante un actuador lineal DC, cuya fuente de voltaje es de 5V DC, alojada en la estructura inferior. El principio de funcionamiento de este actuador consiste en un motor de DC que reduce su velocidad por un sistema de engranajes que hacen mover lentamente un tornillo sin fin, el cual aloja concéntricamente un pistón con una tuerca en su base para contraer o empujar el pistón, en los puntos de inicio y final se encuentran unos finales de carrera que limitan su movimiento. Además solidario al tornillo sin fin se encuentra un

potenciómetro multivoltas que establece la longitud de carrera del pistón a través de la variación de la resistencia en ohmios del potenciómetro.

Lo que se pretende en estas pruebas es verificar la exactitud del mecanismo a través del INS (sensor de posición inercial) y la facilidad de operación del actuador lineal, la velocidad máxima de operación del actuador es de 0,5 pulgadas por segundo, por tanto es importante analizar su respuesta a un cambio repentino del setpoint.

a. Prueba 1 elevación

Esta prueba es similar a las pruebas del movimiento en azimut, la variante consiste en introducir en la interfaz HMI un ángulo, iniciando en 0 grados con respecto al horizonte con intervalos de variación de 5 grados del ángulo de elevación, para verificar su exactitud y rapidez de respuesta en el movimiento de la antena P008L. La figura 4.2 muestra el actuador lineal LACT12P extendido para un ángulo de 20 grados con respecto al eje horizontal de la antena.

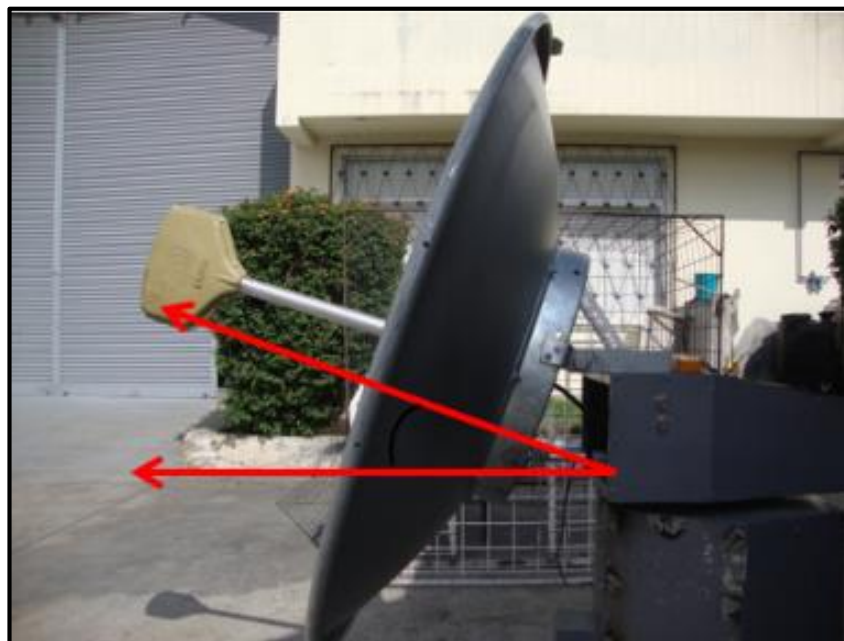


Figura 4. 2 Prueba del movimiento en elevación, 20 grados

Tabla 4. 4 Datos registrados en la prueba 1 - elevación

Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)
5	5,05	1,00	35	35,01	0,03	65	64,27	1,12
10	10,23	2,30	40	41,16	2,90	70	70,35	0,50
15	14,87	0,87	45	45,42	0,93	75	74,18	1,09
20	20,12	0,60	50	50,27	0,54	80	80,03	0,04
25	24,58	1,68	55	55,00	0	85	85,00	0,00
30	30,03	0,10	60	60,00	0	90	89,56	0,49

b. Prueba 2 elevación

Para finalizar las pruebas de precisión y operación de los movimientos en elevación, se introducirá en la interfaz HMI un ángulo dado, iniciando en 0 grados con respecto al horizonte con intervalos de variación de 10 grados del ángulo de elevación, de la misma manera las condiciones son similares a la prueba 1, es decir con el motor a pasos a rotor bloqueado.



Figura 4. 3 Funcionamiento del movimiento en elevación.

Tabla 4. 5 Datos registrados en la prueba 2 - elevación

Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)	Ángulo Teórico (°)	Ángulo Medido (°)	Error (%)
10	10,23	2,30	40	41,16	2,90	70	70,35	0,50
20	20,12	0,60	50	50,27	0,54	80	80,03	0,04
30	30,03	0,10	60	60,00	0	90	89,56	0,49

4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE SOFTWARE

4.2.1 Interface HMI en LabView

Esta prueba indirectamente se verificó antes de realizar los ensayos anteriores, radica principalmente en establecer si existen fallas de comunicación entre el NI Compact RIO 9014 y el micro controlador, también se trató de verificar los indicadores del valor en grados del sensor inercial y encoder que son los dispositivos que demuestran si la antena se encuentra en la posición configurada.

En el primer Tab control denominado CONFIGURACIÓN DE SERIALES, aparece la siguiente visualización:

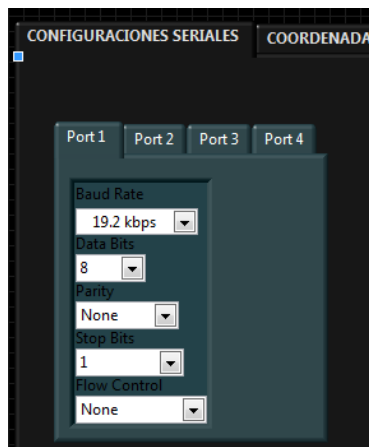


Figura 4. 4 Configuración del puerto

Luego se verifica la velocidad de transmisión de los datos, como aparece en la siguiente figura una comunicación a 19,2Kbps entre ambos dispositivos.

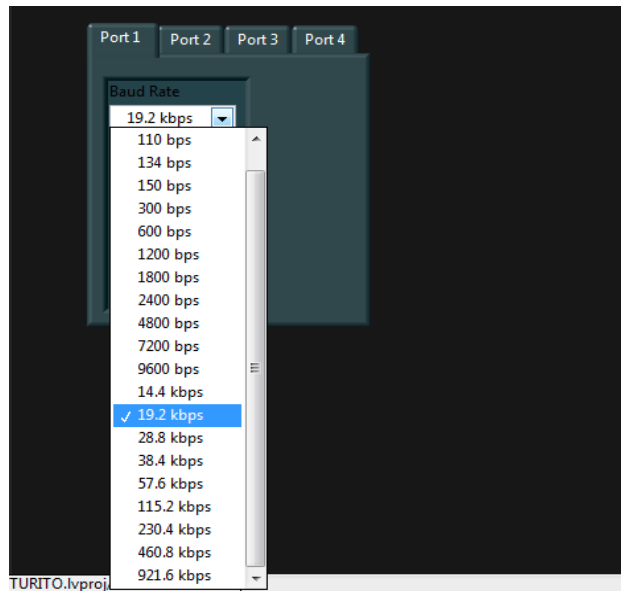


Figura 4. 5 Selección de la velocidad de transmisión

A continuación se comprueba que exista recepción de datos entre el display LCD 20x4 y el micro controlador ATMEGA164P, como aparece en la siguiente figura la recepción del tipo de antena seleccionada, lecturas del valor en grados del sensor inercial en azimut y elevación, lecturas de los valores del setpoint introducidos desde el HMI.



Figura 4. 6 Visualización de parámetros en LCD 20x4

Luego se procede a observar la interfaz gráfica principal y se verifica el funcionamiento de la misma cuando se varía el setpoint del movimiento del azimut a un ángulo introducido por teclado de 90° y la otra variable constante.



Figura 4. 7 Funcionamiento del HMI

También se verifica la trama de envío hacia el micro controlador para este valor de acuerdo a la programación grafica realizada en LabView.

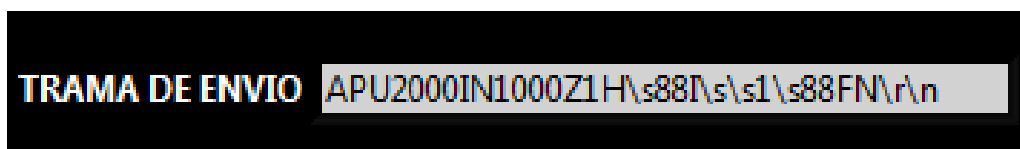


Figura 4. 8 Visualización de Trama

Luego se procede a seleccionar el tipo de antena, para nuestro caso la antena TEKO P008L es la opción A, o como se ha denominado antena grande. Este interruptor booleano varía la trama con un valor de 1 o 2 e inmediatamente cambia el estado en el LCD, a ANT: "GRANDE"

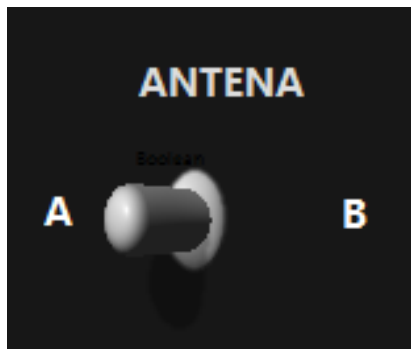


Figura 4. 9 Selección de Antena mediante HMI

Por último se verifican otros valores de setpoint para establecer el correcto funcionamiento del HMI, esta vez se introduce un valor de 180° para la variación del azimut.



Figura 4. 10 Introducción del Set Point 180°

Como se puede observar la interfaz y la comunicación de los diferentes dispositivos funcionan correctamente, cumpliendo satisfactoriamente con los requerimientos del CIDFAE y las expectativas del proyecto.

4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS

En primera instancia se realizó una evaluación de la señal de recepción con los radios que posee el avión no tripulado “Fénix”, que por motivos de seguridad militar no se mencionaran en las especificaciones de los anexos en la presente tesis, la prueba básicamente consiste en realizar una medición de la atenuación de la señal de recepción en dBm para establecer los alcances máximos y mínimos de la antena parabólica cuando se encuentre en seguimiento, debido a las dificultades operativas de la prueba, el test se realizó con la aeronave en tierra a una distancia de 1km. Realizando barridos completos en los movimientos horizontales y verticales, simulando la perdida de línea de vista y verificar estos valores con la sensibilidad del aparato receptor que según las hoja de especificaciones técnicas es de -89dBm, es decir pasado este valor se perderá la señal de video.

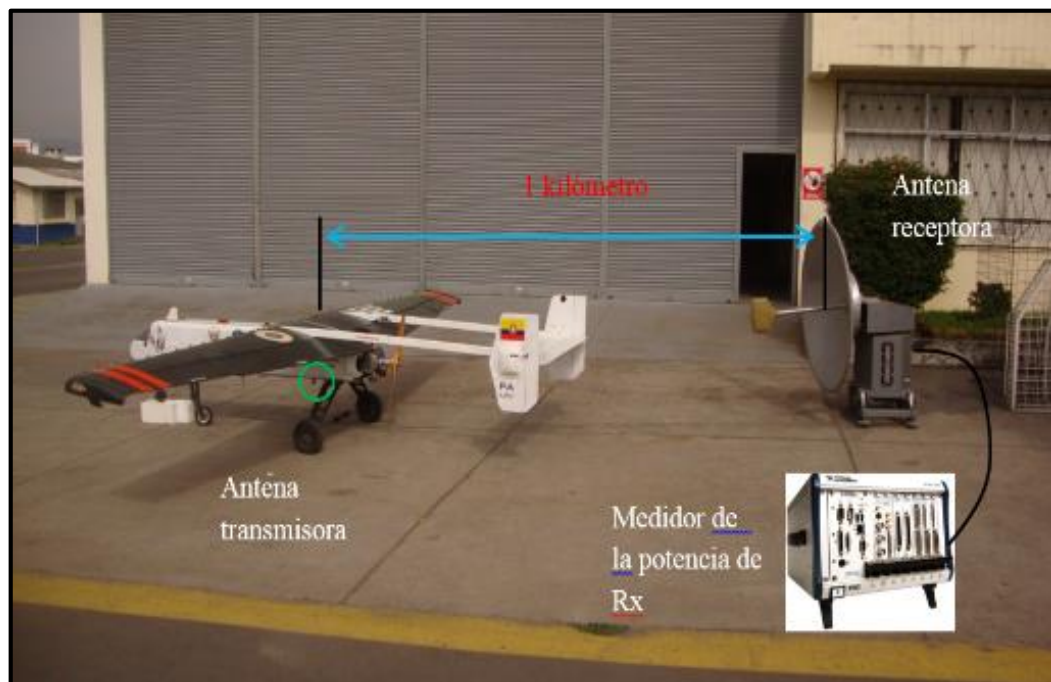


Figura 4. 11 Explicación de la prueba en tierra para establecer la sensibilidad de la señal de recepción de la antena P008L.

Cabe mencionar que la prueba se realizó con facilidad gracias a la plataforma PXI de la National Instrument que es una PC para sistemas de medidas y automatización. La siguiente grafica corresponde a un barrido de 360° de la antena parabólica P008L con un movimiento del azimut.

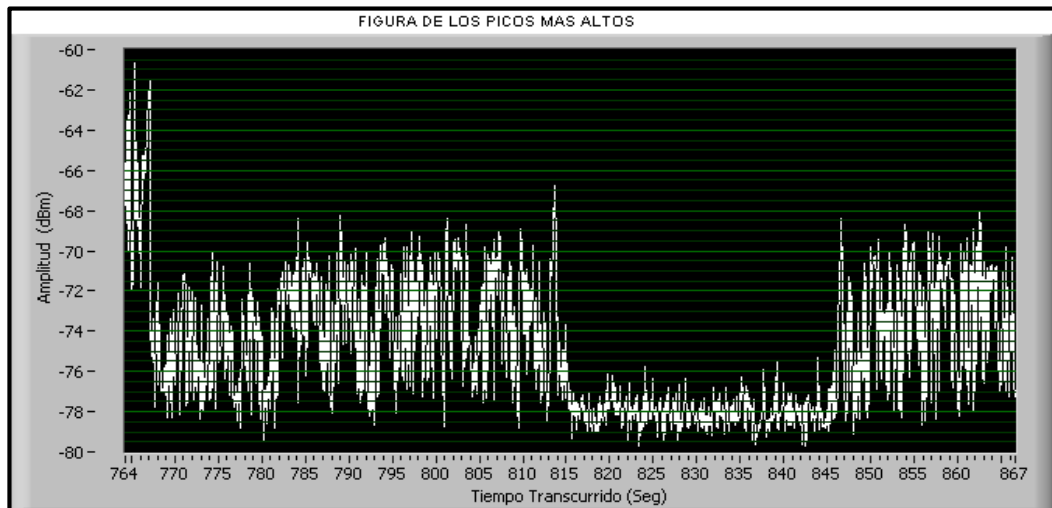


Figura 4. 12 Barrido de 360° en azimut de la antena

La siguiente grafica corresponde al espectro de potencia del mismo barrido donde claramente el valor mínimo de sensibilidad a una distancia de 1km es de -77dBm.

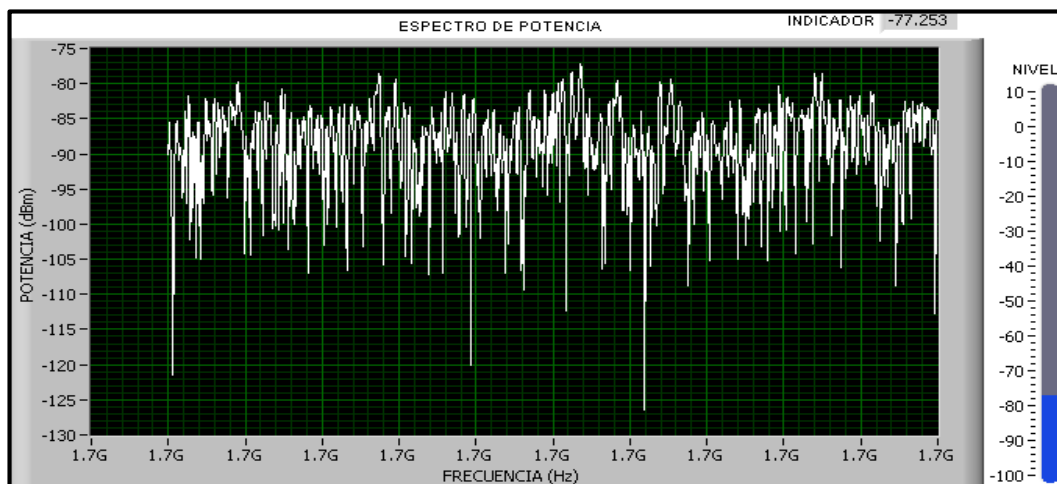


Figura 4. 13 Espectro de potencia movimiento en azimut de la antena

A continuación se realizó un barrido vertical de la antena parabólica en el rango permitido de movimiento como es de 0° hasta 90° . La siguiente grafica nos indica la amplitud de la señal (potencia re recepción en dBm), en función del tiempo de barrido.

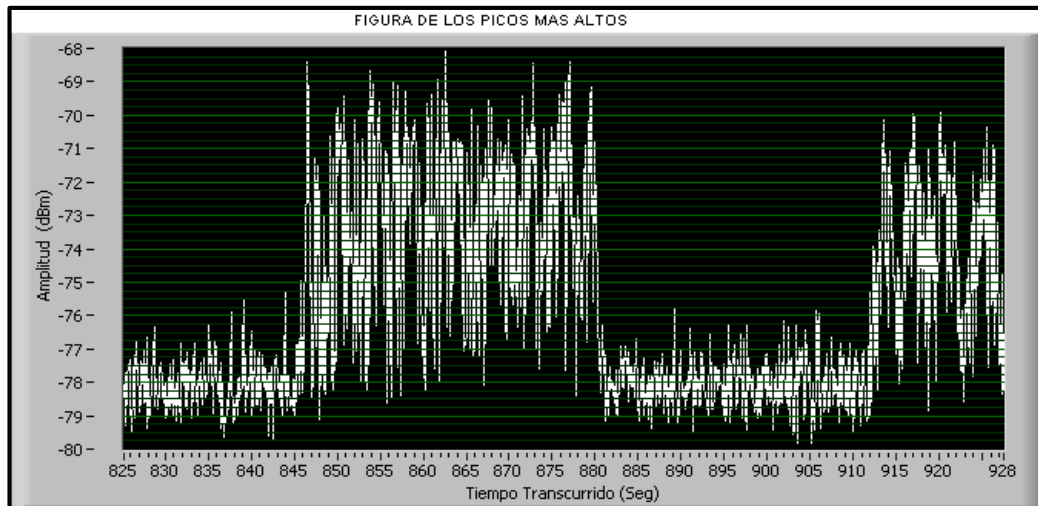


Figura 4. 14 Barrido de 0° a 90° en elevación de la antena

La siguiente grafica corresponde al espectro de potencia del mismo movimiento vertical donde el valor mínimo de recepción de la señal de la antena es de -78dBm.

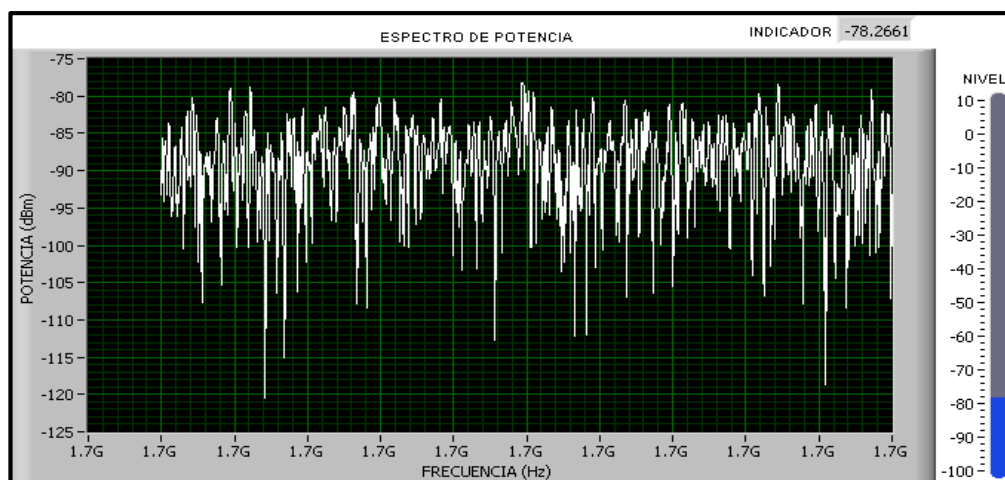


Figura 4. 15 Barrido en elevación de la antena

4.4 PRUEBAS DE CAMPO.

Las últimas pruebas consisten en verificar si el sistema de apuntamiento de antenas cumple con su objetivo fundamental, como es el de ampliar el rango de operatividad del proyecto UAV, una vez acoplados los sistemas electrónicos de posicionamiento automático desarrollados por el CIDFAE para el efecto.

Por el momento se alcanzó a probar el prototipo UAV “Cero” y el prototipo UAV “Fénix”, debido a que los prototipos dirigibles 27T y 36T se encontraban fuera de servicio por motivos presupuestarios y administrativos del CIDFAE. En primera instancia se realizó la prueba en las instalaciones del CIDFAE, despegando el prototipo UAV “Cero” desde el aeropuerto de Chachoán, en una misión de reconocimiento y video en tiempo real hacia la laguna de Yambo ubicada a 8 km del punto de referencia Shelter.

Obteniéndose los resultados previstos y superando fácilmente el kilómetro de operatividad que se tenía en misiones anteriores, por lo tanto el apuntador electromecánico de antenas desarrollado justifica su desarrollo.



Figura 4. 16 Imagen capturada, Laguna de Yambo

Posteriormente con la finalidad de llegar a los 10 Km de operatividad planteados como objetivo principal del proyecto, se realiza una nueva misión, esta vez en la pista Santa Cecilia de Lago Agrio.

A continuación se detallan los datos técnicos de la misión, fundamentales para el éxito de la prueba:

- Altura (pista de Santa Cecilia) = 338 (m) – 1100 (ft)
- Altura de crucero (Sobre la pista)= 430 (m) – 1400 (ft)
- Altura de crucero (Sobre el nivel del mar)= 768 (m) – 2500 (ft)
- Velocidad crucero= 115 km
- Ubicación del Shelter (Plataforma Santa Cecilia)= Lat. (00:04:12.2828 DMS), Long. (-76:59:39.6944 DMS)

En la figura 4.17 se aprecia la simulación de la misión con el programa STK, el cual fue adquirido por el CIDFAE para verificar la calidad de los enlaces y el área de visualización de los sistemas electroópticos instalados en el UAV. En este caso se realizó la prueba en la pista de Santa Cecilia para la adquisición de way points, mediante el cual se traza la ruta que posteriormente seguirá el prototipo “FÉNIX”.



Figura 4. 17 Simulación de la misión con el programa STK

En la figura 4.18 se aprecia la planificación de la misión, realizada en la ruta Santa Cecilia-Lago Agrio con el software de simulación STK, donde señala la trayectoria que deberá seguir el UAV “FÉNIX”.



Figura 4. 18 Ruta Santa Cecilia-Lago Agrio

En la siguiente tabla se resumen los “way points” que cumplió el UAV “FÉNIX” y se demuestra que se alcanzó una distancia de 10.61km con video en tiempo real nítido, cumpliendo de esta manera con el objetivo del de este texto, que es obtener imágenes en tiempo real a una distancia de al menos 10 km con respecto al punto partida.

Tabla 4. 6 Resumen de resultados de vuelo con el UAV “Fénix”

WAY POINT	LATITUD (DMS)	LONGITUD (DMS)	DISTANCIA (UAV-APUNTADOR)	TIEMPO (H:M:S)
1	00:05:05.4379	-76:58:56.5776	2.16 km	00:00:56
2	00:05:04.9007	-76:57:00.9195	5.18 km	00:02:48

3	00:06:50.9326	-76:54:40.9528	10.61 km	00:05:40
Circula r				
4	00:06:20.5428	-76:55:12.6500	9.16 km	00:08:54
5	00:05:42.9306	-76:55:04.7545	8.69 km	00:09:50
Circula r				
6	00:04:52.2465	-76:55:26.5506	7.93 km	00:13:37
7	00:02:50.9960	-76:54:12.6400	10.43 km	00:15:56
8	00:02:14.1757	-76:54:47.4289	9.75 km	00:16:50
9	00:02:39.9840	-76:54:59.9699	9.11 km	00:17:18
10	00:02:49.7595	-76:55:20.2191	8.42 km	00:17:40
11	00:02:33.7194	-76:55:58.7962	7.48 km	00:18:24
12	00:02:53.7233	-76:56:03.8903	7.11 km	00:18:44
13	00:03:20.1990	-76:55:57.2580	7.06 km	00:19:15
14	00:03:20.1990	-76:56:09.4381	6.70 km	00:19:27
15	00:03:13.9443	-76:56:38.9008	5.89 km	00:19:56
16	00:03:34.1173	-76:57:10.2651	4.77 km	00:20:33
17	00:03:43.1691	-76:57:59.8201	3.23 km	00:21:21
18	00:03:31.9611	-76:58:25.9721	2.62 km	00:21:50

En la figura 4.19 se visualiza una imagen capturada del video de la misión realizada en ruta Santa Cecilia- Lago Agrio por el prototipo “FÉNIX”, de uno de los puntos de chequeo (way points).



Figura 4. 19 Imagen ruta Santa Cecilia- Lago Agrio

La siguiente imagen corresponde a una captura de pantalla del video en tiempo real de la misión realizada en la pista Santa Cecilia, cuando el UAV hace su aproximación, se puede observar el apuntador en tierra.



Figura 4. 20 Descenso a la pista Santa Cecilia del UAV “FÉNIX”

4.5 RESULTADOS

4.5.1 Movimiento en azimut

Las tres primeras pruebas realizadas en la sección 4.1.1 corresponden a un movimiento por medio del motor paso a paso para un giro de la antena

en azimut, para analizar los resultados se optó por graficar el error como un valor absoluto entre la variable de entrada y la variable de salida. Hay que destacar que este control se lo realizo a lazo abierto por lo que la variación siempre existirá.

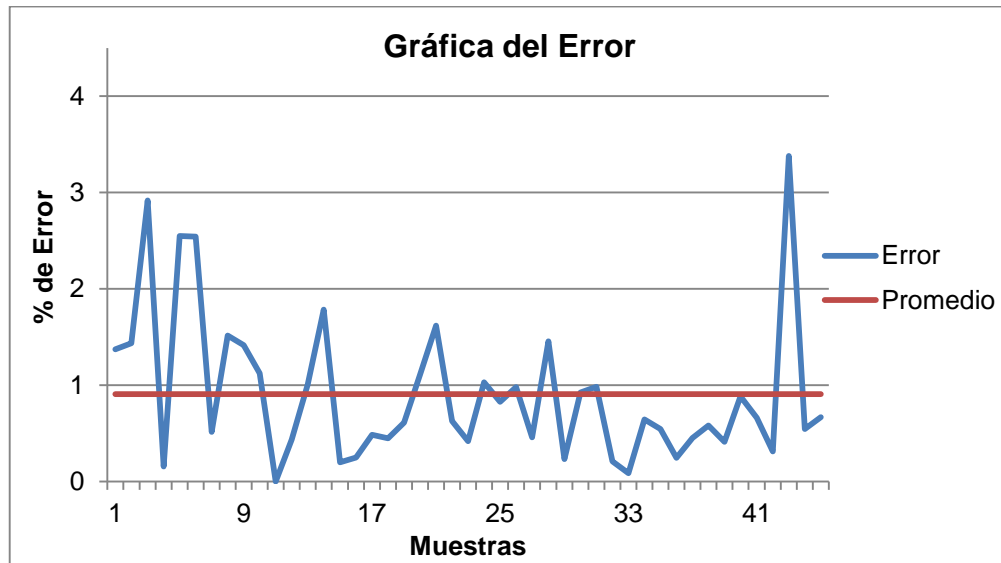


Figura 4. 21 Grafica de error en el movimiento en azimut

La figura 4.21 corresponde a una resolución de 8° , con un total de 45 muestras, se puede concluir que el error promedio es de 0.9° y que relativamente el error disminuye a medida que se incrementa el ángulo en azimut.

4.5.2 Movimiento en elevación

Las dos siguientes pruebas realizadas en la sección 4.1.2 corresponden a un movimiento por medio del actuador lineal para un giro de la antena en el pitch, para analizar los resultados se optó por graficar el error como un valor absoluto entre la variable de entrada y la variable de salida, registrado en la tabla 4. De igual manera este control fue realizado sin realimentación, con la diferencia que la ecuación de la señal PWM representada en la figura 2.74 se acerca a la realidad.

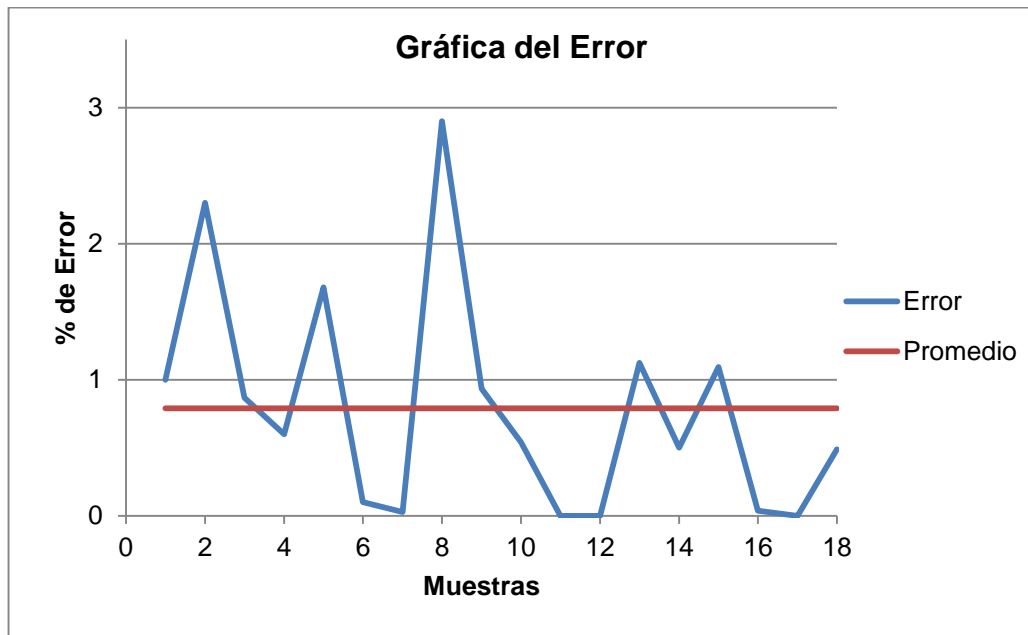


Figura 4. 22 Grafica de error en el movimiento en elevación

La figura 4.22 corresponde a una resolución de 5° , con un total de 18 muestras, se puede concluir que el error promedio es de 0.7° y que en algunos casos el error es nulo, logrando una gran confiabilidad.

4.5.3 Funcionamiento del Sistema de Apuntador Electromecánico

Las pruebas de campo realizadas en el aeropuerto de Chachoán, hacia la ciudad de Salcedo y en la pista de Santa Cecilia hacia la frontera con Colombia demuestran que el sistema desarrollado cumple con los objetivos propuestos, estas pruebas registran un alcance operativo de al menos 10 kilómetros de distancia entre la estación terrena y la aeronave en vuelo, el video de la misión y los puntos de chequeo efectuados demuestran la eficacia de este proyecto.

Hay que destacar que la ubicación de la antena es de vital importancia para poder efectuar los alcances requeridos, ya que sin el análisis de esta variable el sistema de apuntador reduce su eficacia.

4.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS

4.6.1 Alcances

- Ampliación del rango de operatividad de los prototipos no tripulados que posee el Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE, con el sistema electromecánico de antenas, mejorando la longitud de visualización en tiempo real del video captado por el electroóptico montado en el UAV y monitoreado desde una estación de mando y control en tierra.
- Diseño y construcción de una estructura mecánica robusta con capacidad para mover antenas parabólicas en dos grados de libertad como son: azimut debido a la acción de un motor a pasos, y elevación debido al trabajo de un actuador lineal de accionamiento eléctrico.
- Diseño e implementación de una interfaz HMI realizada en LabView que permite controlar el posicionamiento de una antena parabólica tanto en azimut como en elevación, mediante la introducción por teclado de los ángulos en grados requeridos según sea el pedido del operador.
- Tarjeta controladora para el movimiento en azimut realizando la integración entre el driver controlador del motor a pasos y el CompactRIO que utiliza el CIDFAE, para otras aplicaciones del UAV, es decir control del movimiento en azimut desde la estación de mando y control en tierra.
- Tarjeta controladora para el actuador lineal e integración del control mediante la utilización del controlador de automatización programable NI CompactRIO, es decir control del movimiento en elevación desde la estación de mando y control en tierra.

4.6.2 Limitaciones

- La operatividad y funcionalidad de los aviones no tripulados depende fundamentalmente de la transmisión de video en tiempo real, las pruebas de funcionamiento del sistema de apuntador con la antena P008L, se han probado con éxito hasta una longitud de 13km aproximadamente, en condiciones donde el sistema de apuntador se encuentra sobre el nivel del terreno. Siendo el patrón de medición desde la EMCT hacia la aeronave en vuelo, para distancias superiores no se logró verificar.
- La estructura mecánica que facilita el movimiento de las antenas parabólicas, está limitada a las dimensiones de antenas similares o inferiores a la antena TEKO P008L, para valores superiores no sería posible su movimiento en los grados de libertad necesarios.
- La ubicación del sistema de apuntador está ligado a la longitud de los arneses de alimentación eléctrica implementados y a la ubicación de la estación de mando y control en tierra ya que desde ahí energiza la parte de potencia y se controlan los movimientos.
- El movimiento en azimut permite únicamente una vuelta, debido a que el cable coaxial que baja de la antena y los arneses de potencia y control del actuador lineal ubicado en la estructura giratoria se enredan y tienden a romperse.
- El movimiento en elevación realiza un barrido desde 0° hasta 90° con respecto a la horizontal del centro de la antena en posición 0°, para rangos superiores a los establecidos no será posible su movimiento, debido a restricciones de diseño.

4.7 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.

El análisis será en base a la inversión del proyecto, tomando en consideración que la mayoría de los artículos empleados en la implementación del apuntador de antenas ya los poseía el CIDFAE, y fueron utilizados cumpliendo con los requerimientos de la institución en función de disminuir los costos de construcción, como son el actuador lineal, el motor a pasos, el driver controlador del motor, la fuente de DC, el CompactRIO, entre otros de menor valor. El costo relativo de la inversión realizada por el CIDFAE se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4. 7 Resumen de costos totales del proyecto

DESCRIPCIÓN	COMPRA/ EXISTENCIA	COSTO (USD)
Compact-Rio 9014	E	2500
Módulo NI 9401	E	680
Módulo NI 9505	E	1200
Módulo NI 9870	E	750
Motor PAP	E	450
Actuador lineal	E	125
INS	E	160
Encoder	E	120
Driver motor PAP	E	200

Árbol de transmisión	E	100
Planchas de recubrimiento	E	75
Sistema de transmisión	C	250
Estructura metálica	C	650
Rodamientos 3 pulg.	C	250
Pintura	C	25
Display LCD 20x4	C	10
Tarjeta controladora Azimut	C	125
Ventilador 25 W AC	C	30
TOTAL		USD 7700

En el mercado existen diferentes empresas extranjeras que ofertan apuntadores de antenas inteligentes junto con los radios de transmisión y recepción y el control de otros sensores. En función de esto es un tanto complejo comparar estos sistemas con el diseñado en el presente texto; para aclarar dicho comentario a continuación se presentan dos de los apuntadores de antenas utilizadas en el área militar para UAVs.

- Apuntador de antenas automática para UAVs de la empresa China BMP, su precio estimado en ese país 10,000usd, considerando que este sistema no podría realizar los movimientos en azimut y elevación de la antena Teko Telecom por su tamaño y peso. Por lo tanto el apuntador de antenas diseñado y construido para el CIDFAE tiene mayores ventajas y una performance superior debido a su robusto diseño para soportar las elevadísimas exigencias militares.



Figura 4. 23 Apuntador de antenas China BMP

- Apuntador de antenas de la empresa estadounidense The Marcus UAV Corp., su precio cotizado en la web es alrededor de 13,800usd. en ese país, además no se incluye el kit de movimiento y software.



Figura 4. 24 Apuntador estadounidense The Marcus UAV Corp.

Como se puede ver el análisis técnico en base a los resultados obtenidos no se lo podría establecer, además que este proyecto es un prototipo y un aporte a un Centro de Investigación Militar, se considera factible y rentable el diseño y construcción del apuntador electromecánico de antenas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Acorde a las pruebas experimentales y de campo, realizadas con el apuntador electromecánico de antenas, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se ha realizado el diseño y construcción del sistema de apuntador electromecánico de antenas para ampliar el rango de operatividad del proyecto UAV del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.
- Se diseñó y construyó la estructura mecánica del apuntador electromecánico de antenas acorde a los requerimientos del Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE con un novedoso e innovador modelo.
- Se ha implementado el sistema de movimiento en azimut mediante un motor a pasos acoplado al árbol de transmisión diseñado en el texto y un sistema de transmisión como corona, seleccionados acorde a la aplicación militar del proyecto.
- Se ha implementado el sistema de movimiento en elevación mediante un actuador lineal eléctrico, con capacidad de soportar el doble de peso de la antena Teko Telecom P008L de acuerdo al diseño realizado.
- Se ha diseñado e implementado el HMI para probar el funcionamiento del apuntador mediante LabView, sin embargo un

control a lazo abierto dificulta la exactitud de la variable de control, pero debido al lóbulo de polarización de la antena usada este inconveniente no fue notorio durante las pruebas aplicativas en las operaciones del UAV, ya que la calidad del enlace no radica en la exactitud de posicionamiento sino en la velocidad de seguimiento del apuntador sobre la aeronave en vuelo.

- El apuntador electromecánico de antenas se encuentra en capacidad de adaptarse cualquier otro tipo de antena, siempre y cuando sus dimensiones no sean superiores a la Teko Telecom P008L y su peso no sea equivalente al doble de la antena en mención.
- El rango de operatividad obtenido con el enlace de video mediante el sistema de apuntamiento implementado se incrementa desde 1 hasta 10.6 kilómetros, tomando como referencia la estación en tierra. Cumpliendo con las expectativas del proyecto y alcanzando el objetivo de superar los 10km de operatividad.

5.2 RECOMENDACIONES

Una vez que el diseño y construcción del sistema de apuntador electromecánico de antenas ha sido evaluado satisfactoriamente, se establecen las siguientes recomendaciones:

- Para versiones similares o un mejoramiento de este proyecto se debería tomar a consideración la posición óptima de ubicación del apuntador, es decir la altura a la cual la antena receptora tiene que posicionarse y brindar la mejor cobertura, este valor depende de la geografía del terreno y de los obstáculos naturales y artificiales en donde vayan a operar las aeronaves para lo que se sugiere un sistema de elevación del apuntador en su conjunto.
- Establecer un área de seguridad, tomando en consideración el área de operación del apuntador electromecánico de antenas, estableciendo un radio mínimo de 1,5m. para que la antena pueda rotar libremente.
- Se debe incorporar un sistema que elimine la limitación de girar apenas una vuelta en azimut del apuntador electromecánico de antenas, para lo cual se sugiere el uso de conectores rotativos disponibles en el mercado extranjero.
- Los estudios de ingeniería asistida deben ejecutarse con un software especializado CAE como Ansys que ha demostrado su alta precisión y efectividad con los resultados arrojados en este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. OSORIO Ávila y E. ANDRADE Sigüenza, «Sistemas Satelitales. Tesina (Ingeniero en electrónica),» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2006.
- [2] R. ESCAMILLA Núñez, «Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV). Tesis (Ingeniero e Automatización y Control),» Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México DF, México, 2010.
- [3] F. CARRERA Flores y C. CUVI Constante, «Diseño e implementación de un sistema de control de posición en azimut y elevación para la obtención de características de radiación de antenas usando la cámara anecoica. Tesis (Ingeniero en electrónica),» Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador, 2012.
- [4] A. QUEZADA Cantuña, «Automatización del control de presión del horno de fundición para disminuir los desperdicios en la producción de lingotes de aluminio en la empresa CEDAL en la ciudad de Latacunga. Tesis (Ingeniero en mecatrónica),» Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Latacunga, Ecuador, 2011.
- [5] H. MATHEU Aguilar, «Elaboración de un software para el dimensionamiento y el cálculo de parámetros para la construcción de mecanismos dentados. Tesis (Ingeniero en electromecánica),» Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador, 2000.
- [6] P. ARIZA Moreno y A. SÁENZ Pérez, «Método de los elementos finitos. Introducción a ANSYS. Monografía (Ingeniero mecánico),» Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2009.
- [7] S. GÓMEZ Gonzalez, El gran libro de SolidWorks Office Professional, Primera ed., México DF: Marcombo S.A, 2007.
- [8] Á. MULLO Quevedo y M. NOROÑA Heredia, «Control y monitoreo de los sistemas HVAC y nivel de líquidos mediante panel view 600 a

- través de una red serial. Tesis (Ingeniero en electromecánica),» Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador, 2007.
- [9] V. MORENO Vega y A. FERNÁNDEZ Prieto, «Programación en LabView. Programación en lenguaje G,» Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba, 2005.
- [10] E. GAMBOA Poveda y R. ÁLVAREZ Martínez, «Acero Inoxidable 316 y 316L, propiedades y características físico - químicas,» Colombia 2012. [En línea]. Available: <http://materialesfull.wikispaces.com/file/view/ACERO..pdf>. [Último acceso: 10 Enero 2013].
- [11] A. JARA Quintana, «Copyright 2013 Scribd Inc. Prototipo de Antena Inteligente automatizada para coberturas IEEE 802.11 b/g,» México 2011. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/64129103/PLAN-de-TESIS-Antenas-Inteligente>. [Último acceso: 12 Diciembre 2012].
- [12] INOCAR, «Frecuencias de viento predominante y velocidad media,» Guayaquil 2012. [En línea]. Available: <http://www.inocar.mil.ec/links.php?C=2&S=2&SbS=1&idC=1>. [Último acceso: 17 Diciembre 2012].
- [13] «Todo Robot. Tutorial sobre Motores Paso a Paso,» Argentina 2010. [En línea]. Available: <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>. [Último acceso: 08 Enero 2013].
- [14] INAMHI, «Anuario Meteorológico 2010,» Quito 2012. [En línea]. Available: <http://www.inamhi.gob.ec/index.php/clima/anuarios-meteorologicos/204-anuario-meteorologico-2010>. [Último acceso: 15 Enero 2013].
- [15] TEKNO TELECOM, «Antenne paraboliche Parabolic antennas,» Bologna 2010. [En línea]. Available: <http://www.broadcastpartners.nl/website/uploads/files/products/41501.pdf>. [Último acceso: 22 Febrero 2013].

- [16] L. VELASCO, «Scribd, Catálogo DIPAC,» Ambato 2012. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/35443893/catalogo-acero-dipac>. [Último acceso: 11 Enero 2013].
- [17] COYOYE SOFT, «Selección de Rodamientos,» Chile 1999. [En línea]. Available: <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/roda/roda4.html>. [Último acceso: 12 Enero 2013].
- [18] L. ENGINEERING, «Catálogo de Motores a Pasos,» Vancouver 2011. [En línea]. Available: <http://www.linengineering.com/LinE/contents/stepmotors/pdf/8718.pdf>. [Último acceso: 15 Febrero 2013].
- [19] POLOLU, «Catálogo de Actuadores Lineales IMD3 Series,» Florida 2011. [En línea]. Available: <http://www.pololu.com/file/0J424/LD%20Actuator%20Load%20Specifications.pdf>. [Último acceso: 18 Febrero 2013].
- [20] T. Lambda, «Fuentes de Energía SWS 300/600 Series,» Miami 2011. [En línea]. Available: http://us.tdk-lambda.com/lp/ftp/specs/sws300_600.pdf. [Último acceso: 22 Febrero 2013].
- [21] N. Instruments, «NI cRIO 9014,» Texas 2012. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/203500>. [Último acceso: 02 Marzo 2013].
- [22] N. INSTRUMENTS, «NI 9870,» Texas 2012. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/204259>. [Último acceso: 02 Marzo 2013].
- [23] N. INSTRUMENTS, «NI 9401,» Texas 2012. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208809>. [Último acceso: 02 Marzo 2013].
- [24] N. INSTRUMENTS, «NI 9505,» Texas 2012. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/202711>. [Último acceso: 02 Marzo 2013].

- [25] N. INSTRUMENTS, «NI P70530,» Texas 2012. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/203933>. [Último acceso: 03 Marzo 2013].
- [26] ATMEL, «8-bit Microcontroller with 16/32/64KBytes In-System Programmable Flash,» Miami 2009. [En línea]. Available: <http://www.atmel.com/images/doc7674.pdf>. [Último acceso: 05 Marzo 2013].
- [27] J. GALARZA, Manual en español ATmega 164P/atmel AVR, Cataluña: Udesia Ediciones, 2008.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.

BASE DE DATOS DE LOS ANUARIOS DEL INHAMI Y LA DIRECCIÓN DE AVIACIÓN CIVIL.

ANEXO B.

ELEMENTOS Y PLANOS DEL APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS.

ANEXO C.

DATOS Y ESTADÍSTICAS RELACIONADAS CON EL APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS

ANEXO D.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MÓDULOS NI UTILIZADOS

ANEXO E.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS Y MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DEL APUNTADOR DE ANTENAS

ANEXO F.

MANUAL DE MANTENIMIENTO, HOJAS RCM DEL APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS

ANEXO G.

MANUAL DE OPERACIÓN DEL APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS

ANEXO H.

ARTICULO DE REVISTA “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS PARA AMPLIAR EL RANGO DE OPERATIVIDAD DEL PROYECTO UAV DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”

ANEXO A

**BASE DE DATOS DE LOS ANUARIOS DEL
INHAMI Y LA DIRECCIÓN DE AVIACIÓN CIVIL.**

BASE DE DATOS RECOPIADO DE LOS (ANUARIOS 1995- 2006) INAMHI

NOMBRE (Estación Meteorológica)	LATITUD	LONGITUD	X UTM (WGS84)	Y UTM (WGS84)	Velocidad máxima de viento (m/s)	Velocidad media de viento (m/s)	Velocidad mínima de viento (m/s)	DIRECCIÓN	ALTITUD (M.S.N.M.)	TEMPERATURA (MÁXIMA) (°C)	TEMPERATURA (MÍNIMA) (°C)
AMALUZA INAMHI	04°35' 05" S	79°25' 50" W	674108,1815	9496512,479	16	7,41	4	W	1672	24	15
ANCÓN	01°31' 05" S	79°32' 30" W	516862,9289	9743076,73	14	8,29	6	SW	4	32	27
ARENILLAS	03°33' 37" S	80°03' 22" W	605083,7001	9611251,249	10	6	2	N	60	32	23
BABAHOYO-UTB	01°47' 49" S	79°32' 00" W	663140,0892	9802678,613	12	3,11	1	SW	7	32	25
BAÑOS	01°23' 29" S	78°25' 05" W	787317,0848	9847106,26	20	17,7	10	E	1846	24	11
BIBLIAN	02°42' 32" S	78°53' 30" W	734396,5436	9702430,865	16	8,83	6	S	2640	24	11
BOLÍVAR CARCHI	00°30' 19" N	77°54' 13" W	844773,9675	10055920,66	18	12,3	8	N	2800	20	9
BUCAY	02°11' 44" S	79°08' 00" W	707598,667	9757194,362	8	5,17	2	NW	480	28	23
CAMPOSANO 2	01°35' 34" S	80°24' 04" W	566616,3324	9825146,649	12	5,09	3	NW	220	34	27
CAÑAR	02°33' 05" S	78°56' 15" W	729327,3119	9719740,815	20	9,16	6	S	3083	20	11
CARIAMANGA	04°20' 00" S	79°33' 16" W	660415,5414	9524149,091	12	5,12	2	SE	1950	26	17
CAYAPAS	00°51' 18" N	78°57' 54" W	726774,1898	10094220,71	9	3,7	1	SW	75	28	23
CÉLICA	04°06' 17" S	79°57' 05" W	616393,9413	9549323,672	20	13,1	4	E	1984	32	19
CHACRAS	03°32' 37" S	80°11' 53" W	589069,8294	9610961,36	8	5,1	4	N	60	32	25
CHALPATAN	00°44' 17" N	77°48' 50" W	854786,5457	10081117,22	10	6,43	4	S	3360	18	9
CHIRIYACU	00°26' 35" N	78°12' 02" W	811623,659	10049029,86	20	12	8	NE	2262	28	11
CHONE	00°42' 18" S	80°06' 31" W	599184,6727	9922601,008	12	5,68	2	NW	20	32	25
COTOPILALO CONVENIO	00°41' 00" S	78°42' 00" W	755980,9375	9924927,607	20	15	8	SE	3250	24	11
EL ÁNGEL	00°37' 35" N	77°56' 38" W	840296,124	10068852,26	18	9,49	6	SE	3055	24	15
EL CARMEN	00°19' 04" S	79°16' 47" W	691449,8803	9964860,06	12	4,21	3	S	250	36	25
EL LABRADO	02°43' 58" S	79°00' 29" W	714218,1837	9699840,501	16	11,1	6	SE	3260	22	11
EL PROGRESO- GUAYAS	02°24' 00" S	80°22' 00" W	570413,7263	9736527,243	8	5,57	4	W	80	34	27
ESMERALDAS LAS PALMAS	00°59' 07" N	79°38' 07" W	651851,5596	10108934,01	18	11,2	8	W	6	34	27
ESTANCILLA	00°49' 00" S	80°13' 00" W	587159,3252	9909725,242	16	12,8	10	NW		32	23
GONZANAMA	04°13' 49" S	79°25' 52" W	674128,4716	9535440,041	20	13,1	4	NE	2042	32	19

GRANJA STA.	03°17' 16" S	79°54' 05" W	622055,5235	9636530,653	8	4,82	2	N	5	32	25
GUALACEO	02°52' 55" S	78°46' 35" W	747183,0166	9683395,894	8	5,06	3	SE	2360	22	11
GUAYAQUIL RADIO SONDA	02°12' 00" S	79°53' 00" W	624173,9576	9756786,245	12	4,63	2	SW	6	34	27
IÑAQUITO	00°10' 00" S	78°29' 00" W	780128,6413	9981686,723	20	6,72	4	NE	2812	26	9
INGENIO AZTRA	02°22' 27" S	79°22' 27" W	680783,5911	9739273,146	12	6,04	3	SW	50	28	21
INGENIO SAN CARLOS	02°12' 00" S	79°26' 35" W	673143,4808	9756742,377	14	6,6	2	SW	35	34	25
INGUINCHO	00°15' 30" N	78°44' 03" W	789316,2586	10028387,43	18	10,4	4	E	3185	24	9
INSTITUTO TÉCNICO 3 DE MARZO	01°41' 50" S	79°03' 00" W	716931,938	9813581,669	14	9,53	6	NW	2	28	19
JAMA	00°12' 25" S	80°16' 26" W	580798,649	9977281,396	20	7,94	4	SE	5	36	27
JULCUY	01°28' 48" S	80°37' 56" W	540910,7632	9837532,983	10	6,42	4	NE	240	34	27
LA ARGELIA	04°02' 11" S	79°12' 04" W	699711,8889	9556681,048	20	7,87	4	N	2160	26	17
LA CONCORDIA	00°01' 36" N	79°22' 17" W	681246,0975	9997071,542	8	6,53	4	S	360	32	23
LA TEODOMIRA	01°09' 51" S	80°23' 24" W	567864,3553	9872199,138	10	5,18	3	N	60	34	27
LA TOLA	00°13' 46" S	78°22' 00" W	793122,766	9975091,63	20	11,9	4	SE	2480	24	9
LA VICTORIA INERHI	00°03' 36" S	78°12' 02" W	793122,7101	9974786,381	12	7,85	6	W	2200	28	13
LAS PALMAS	02°42' 58" S	78°37' 47" W	763532,8314	9701583,495	16	10,2	6	E	1640	24	17
MALACATOS	04°12' 58" S	79°16' 16" W	691895,2301	9536958,309	12	8,09	0	S	1453	24	17
MALCHINGUI INAMHI	00°03' 20" N	78°19' 56" W	796964,7795	10006147,27	20	15,1	8	SE	2880	24	9
MANTA INOCAR	00°56' 03" S	80°44' 02" W	529607,7018	9896745,303	14	9,02	2	W	3	32	25
MILAGRO(INGENIO VALDEZ)	02°06' 56" S	79°35' 57" W	655786,6071	9767698,309	8	4,43	2	SW	13	36	25
MIRA-FAO GRANJA	00°32' 00" N	78°02' 00" W	830250,085	10059029,01	20	11,2	2	NW	2270	20	9
MUISNE	00°37' 13" N	80°00' 50" W	609728,5429	10068569,58	12	6,84	4	SW	6	36	25
NARANJAL	02°39' 44" S	79°39' 23" W	656775,5368	9707668,054	8	5	4	NW	30	34	27
NOBOL	00°54' 00" S	80°01' 20" W	608747,1538	9900508,295	8	7	4	SW	9	28	11
NUEVO ROCAFUERTE	00°55' 00" S	75°25' 00" W	1121641,45	9899372,589	6	3,95	2	NE	205	32	25
OLMEDO-MANABÍ	01°23' 44" S	80°12' 39" W	587790,5082	9846791,422	8	6,79	6	SE	50	36	27
OLMEDO-PICHINCHA	00°08' 53" N	78°02' 52" W	828653,7652	10016386,48	20	17	11	E	3120	26	11
OTAVALO	00°14' 16" N	78°15' 35" W	805035,8043	10026131,69	12	6,56	3	NE	2556	24	11
PALMORIENTE	00°19' 00" S	77°04' 06" W	937799,4393	9964975,844	16	10,5	4	NE	30	32	23
PAPALLACTA	00°21' 54" S	78°08' 41" W	817843,9694	9959882,643	16	7,31	5	E	3150	28	15
PAUTE	02°46' 39" S	78°45' 32" W	749151,5334	9694866,597	10	5,59	4	E	2289	22	11

BASE DE DATOS HOJAS RESÚMENES INAMHI (1983-2008)

NOMBRE (Estación Meteorológica)	LATITUD	LONGITUD	X UTM (WGS84)	Y UTM (WGS84)	Velocidad máxima de viento (m/s)	Velocidad media de viento (m/s)	Velocidad mínima de viento (m/s)	DIRECCIÓN	ALTITUD (M.S.N.M.)	TEMPERATURA (MÁXIMA) (°C)	TEMPERATURA (MÍNIMA) (°C)
CALAMACA CONVENIO IN	01°16' 50" S	78°49' 15" W	742483,1231	9859327,002	20	16,5	10	S	3437	24	11
CALUMA	01°37' 12" S	79°17' 35" W	689891,3421	9822088,051	14	7,6	3	SE	350	28	17
CHILLANES	01°58' 32" S	79°03' 48" W	715414,9413	9783011,589	16	6,2	3	W	2330	28	17
CHUNCHI	02°16' 31" S	78°55' 25" W	730918,5894	9750068,865	20	10,3	4	SW	2245	24	9
CÓTOPAXI- CLIRSEN	00°37' 09" S	78°34' 19" W	770247,548	9931501,546	20	14	6	S	3560	24	7
EL CORAZÓN	01°08' 02" S	79°04' 32" W	714139,2256	9875458,978	15	6,5	4	E	1560	28	21
EL REFUGIO	00°39' 33" S	78°34' 12" W	769593,115	9927576,154	16	14,6	12	E	4800	24	7
GUAMOTE	01°56' 00" S	78°43' 00" W	753999,98	9787601,251	29	10,2	3	N	3020	24	15
GUASLÁN	01°43' 15" S	78°39' 40" W	760213,8643	9810939,586	16	6,8	2	N	2750	24	15
IZOBAMBA	00°22' 00" S	78°33' 00" W	772698,9891	9959712,844	14	4,85	2,5	E	3058	24	9
LAGUACOTO	01°36' 52" S	78°59' 54" W	722691,2266	9822668,263	20	14,9	8	N	2622	28	17
PACHACAMA- TIXAN	02°11' 42" S	78°46' 54" W	746725,5053	9758864,575	20	12,8	4	E	3690	24	15
PATATE	01°18' 01" S	78°30' 00" W	778202,6681	9857127,322	20	12,8	6	SE	2360	24	15
PEDRO FERMIN CEVALLOS	01°21' 09" S	78°36' 54" W	765392,1437	9851402,073	14	7,9	6	E	2910	24	11
PICHILINGUE	01°06' 00" S	79°27' 42" W	671165,5557	9879206,131	15	4	1	SW	120	32	25
PILALÓ	00°56' 37" S	78°59' 42" W	723119,8033	9896353,207	20	5,7	1	W	2520	28	21
PÍLLARO	01°01' 10" S	78°33' 10" W	772339,0833	9871508,362	14	7	2	S	2805	24	15
QUEROCHACA	01°24' 00" S	78°35' 00" W	768912,6818	9846179,642	20	13,1	6	E	2940	24	11
QUINARA INAMHI	04°18' 50" S	79°14' 36" W	694954,8453	9526211,864	20	11,3	5	SE	1560	26	17
QUININDÉ	00°18' 19" N	79°27' 45" W	671101,5361	10033523,26	8	3,67	1	NE	120	32	27
RUMIPAMBA- SALCEDO	01°01' 05" S	78°35' 32" W	767960,2196	9888145,456	16	8,3	5	S	2628	28	17
SAN JUAN LA MANA	00°54' 59" S	79°14' 44" W	695229,5797	9899357,962	10	3,5	2	SW	223	32	23
SANTA CÉLICA	00°04' 34" S	76°55' 33" W	954281,064 7	9991582,677	9	3,7	3	SW	298	32	21
SHIRY XII	01°51' 00" S	78°45' 00" W	750301,882	9796761,231	8	7	6	SE	3028	24	15
VINCES INAMHI	01°32' 57" S	79°45' 00" W	639052,97 66	9829902,676	12	6,1	3	S	41	34	25

BASE DE DATOS AEROPUERTOS DE LA DAC (Dirección de Aviación Civil)

NOMBRE (Estación Meteorológica)	LATITUD	LONGITUD	X UTM (WGS84)	Y UTM (WGS84)	Velocidad máxima de viento (m/s)	Velocidad media de viento (m/s)	Velocidad mínima de viento (m/s)	DIRECCIÓN	ALTITUD (M.S.N.M.)	TEMPERATURA (MÁXIMA) (°C)	TEMPERATURA (MÍNIMA) (°C)
A-LAGO AGRIO	00°05' 01" N	76°52' 01" W	960219,026 6	10009246,48	15	3	3	W	299	32	23
A-FRANCISCO DE ORELLANA	00°27' 08" S	76°59' 01" W	947205,252	9949985,667	19	3	3	E	299,9	34	25
A-MACAS	00°27' 08" S	76°59' 01" W	820663,2477	9747023,44	18	4	3	N	1000	28	21
A-RIO AMAZONAS	01°29' 08" S	78°02' 07" W	829937,2 742	9835579,658	23	4	3	N	1043	28	21

ANEXO B

**ELEMENTOS Y PLANOS DEL APUNTADOR
ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS.**

1

2

3

4

5

6

7

8

A

B

C

D

E

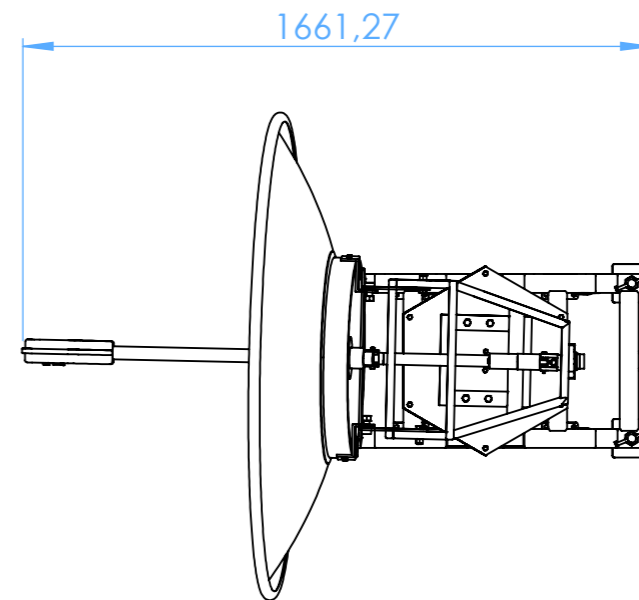
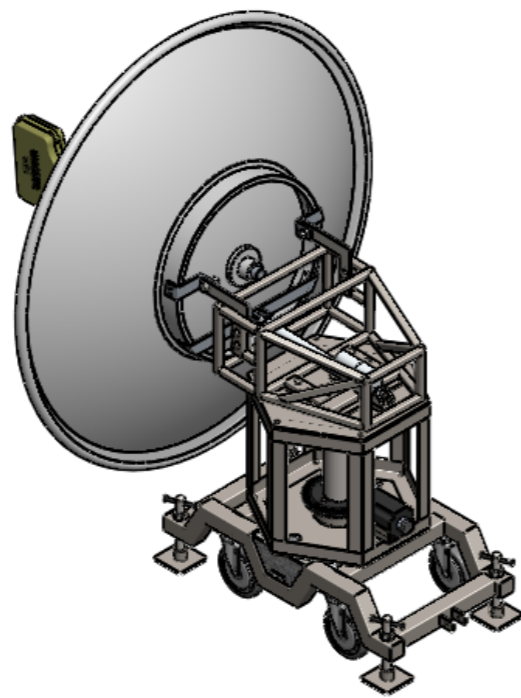
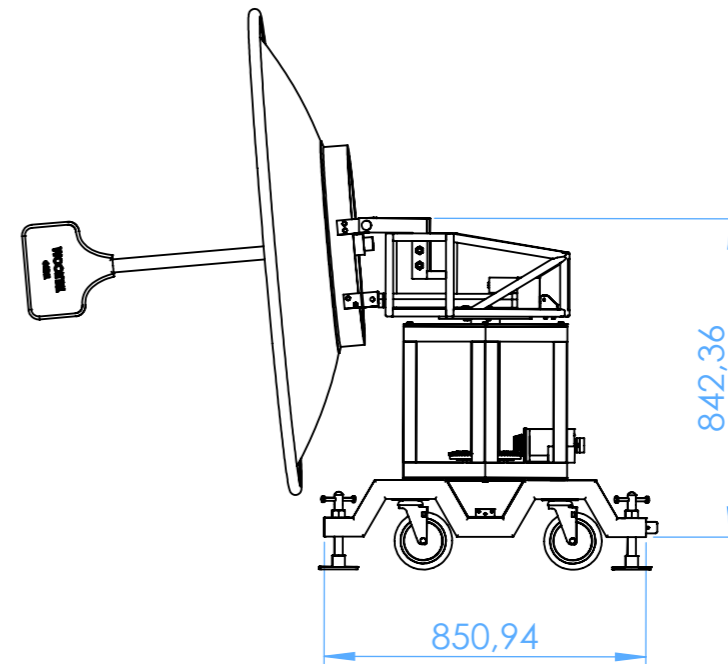
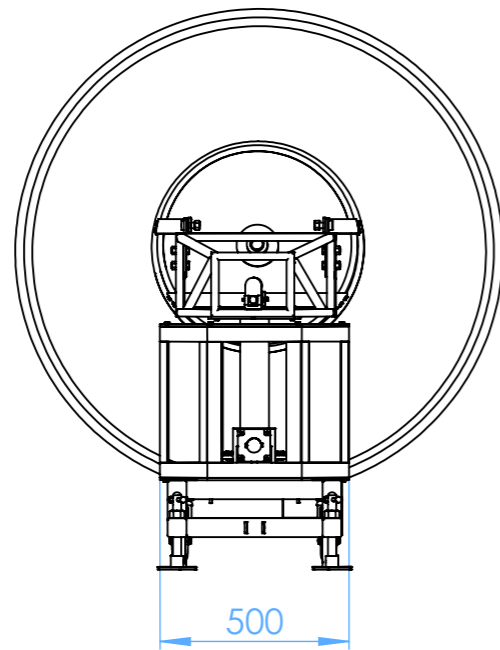
F

A

B

C

D



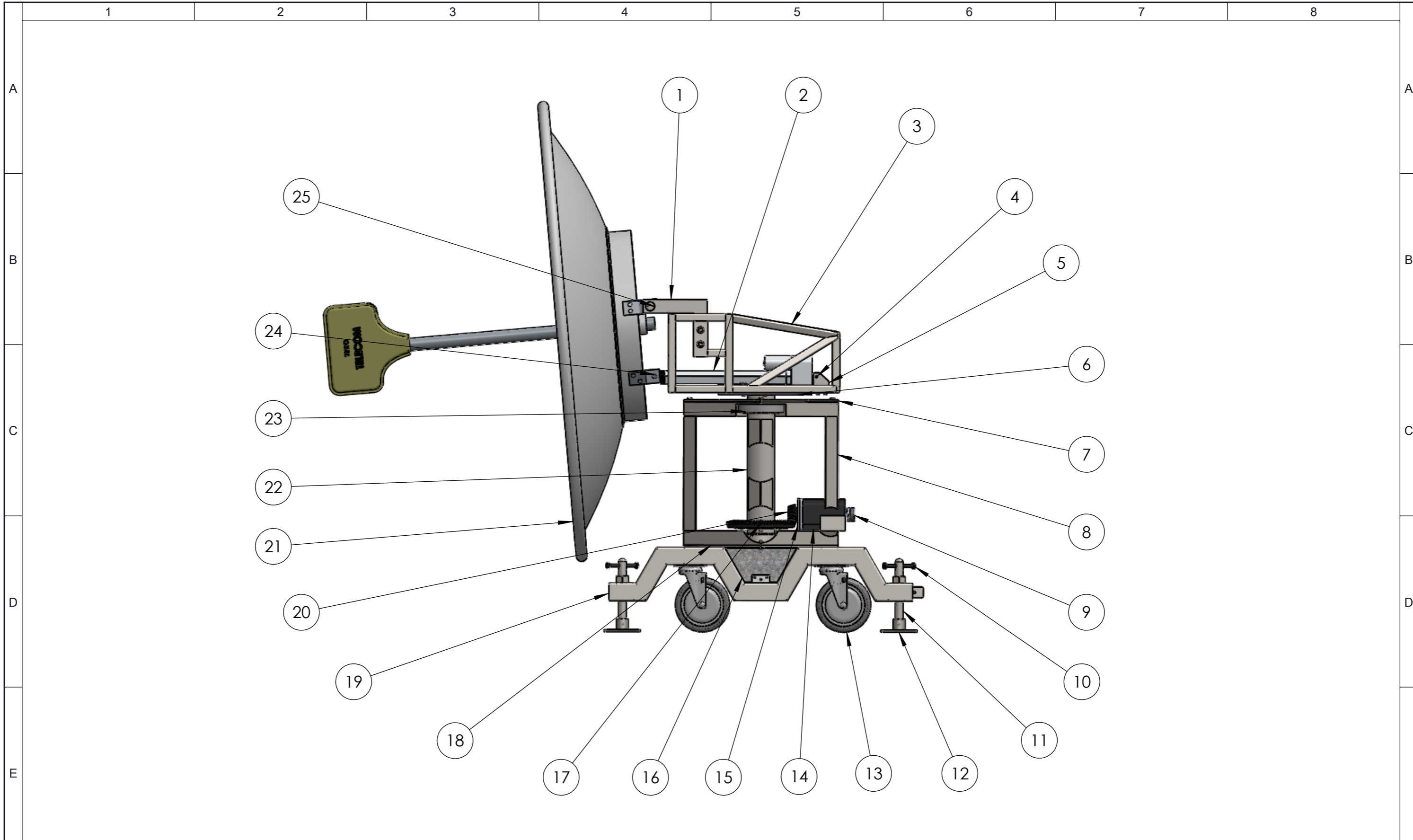
				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 80.18 Kg	VARIOS		
						DIMENSIONES PRINCIPALES	Escala: 1:20	
				Dib: 25/05/2013	León - Guamán			
				Rev: 25/05/2013	Ing. Manjarrés F.			
				Apro: 25/05/2013	Ing. Manjarrés F.			
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-001		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

1

2

3

4



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 80.18 Kg	VARIOS	
				Fecha	Nombre	PARTES ESTRUCTURA APUNTADOR DE ANTENAS	Escala: 1:10
				Dib: 25/05/2013	León - Guamán		
				Rev: 25/05/2013	Ing. Manjarrés F.		
				Apro: 25/05/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-002	
Edic- ción	Modificación	Fecha	Nombre				

F

D

C

B

A

1

2

3

4

		1	2	3	4
A	No. de orden	No. de piezas	Denominación	No. de norma o dibujo	Observaciones
	1	2	SOPORTE SUPERIOR ANTENA	EAA-004	AISI 316
2	1	ACTUADOR LINEAL	IEI/LACT-12P	-	
3	1	ESTRUCTURA SUPERIOR MOVIL	EAA-005	ASTM A 36	
B	4	PASADOR DEL ACTUADOR LINEAL	EAA-006	ASTM A 36	
	5	SOPORTE DEL ACTUADOR LINEAL	EAA-007	ASTM A 36	
	6	BASE PARA ESTRUCTURA SUPERIOR	EAA-008	ASTM A 36	
	7	CUBIERTA SUPERIOR	EAA-009	AISI 1010	
	8	ESTRUCTURA INFERIOR FIJA	EAA-010	ASTM A 36	
C	9	ENCODER	NI/780251-01	-	
	10	PALANCA DE TORNILLO DE POTENCIA	EAA-011	ASTM A 36	
	11	TORNILLO DE POTENCIA	EAA-012	AISI 1018	
	12	BASE PLACA NIVELADORA	EAA-013	ASTM A 36	
	13	GARRUCHA 150 Kg	IMSA SERIE 45/6IN	-	
	14	MOTOR PAP	LIN ENGINEERING 8718L-02S	-	
D	15	SOPORTE MOTOR PAP	EAA-014	ASTM A 36	
	16	CAJA INFERIOR DE CONMUTACIÓN	EAA-015	ASTM A 653	
	17	ENGRANE CÓNICO 1	MOD 4/N=64	AISI 1020	
	18	CUBIERTA INFERIOR	EAA-016	AISI 1010	
	19	CHASIS	EAA-018	ASTM A 36	
E	20	ENGRANE CÓNICO 2	MOD 4/ N=16	AISI 1020	
	21	ANTENA TEKO TELECOM	TEKO/P008L/1.7GHz	ALUMINIO ANODIZADO	
	22	ARBOL PRINCIPAL	EAA-019	AISI 316	
	23	RODAMIENTO CÓNICO 3in	SKF 42687/42620	-	
	24	PASADOR DEL PISTÓN	EAA-020	AISI 316	
	25	PASADOR DE LA ANTENA	EAA-021	AISI 316	

				Tolerancia: ±0,1mm	Peso Kg	VARIOS	
						LISTADO DE MATERIALES	Escala: 1:20
				Dib:	25/05/2013		León - Guamán
				Rev:	25/05/2013		Ing. Manjarrés F.
				Apro:	25/05/2013		Ing. Manjarrés F.
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-003	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

N9

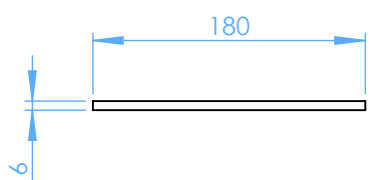
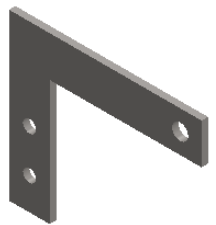
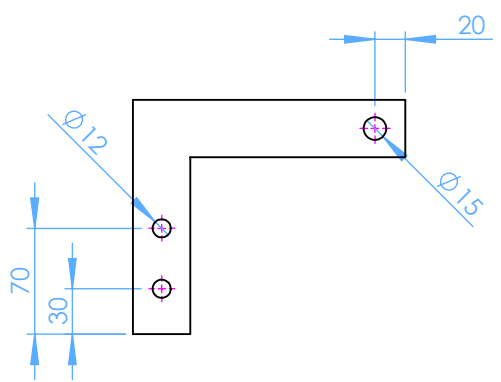
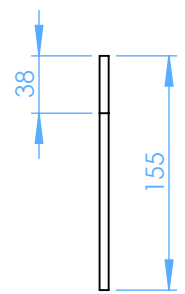
A

B

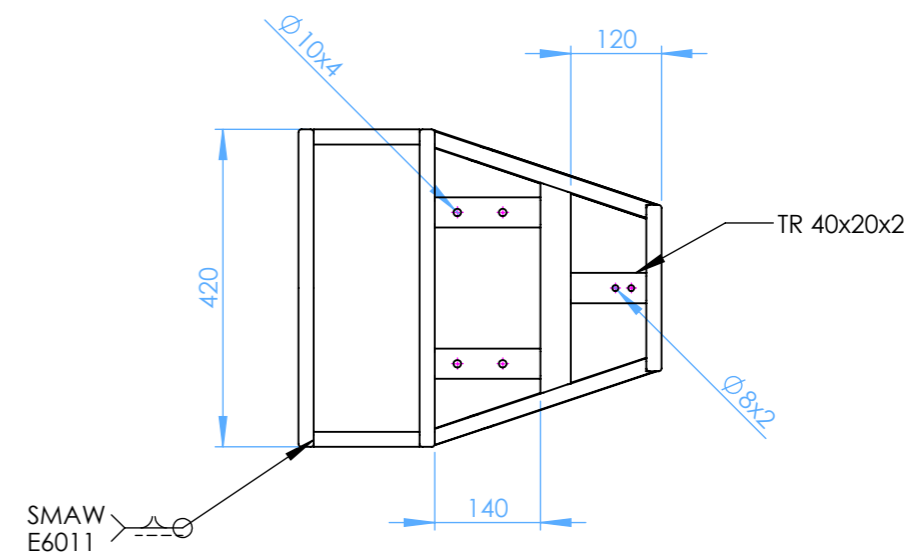
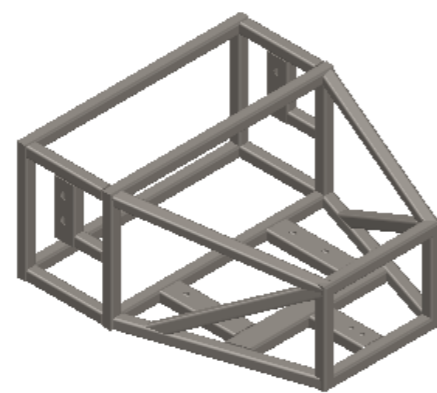
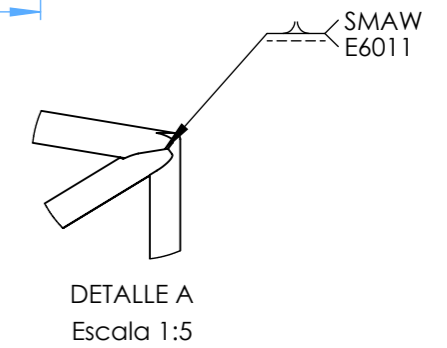
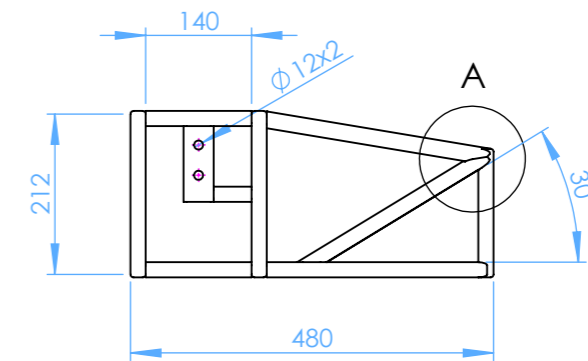
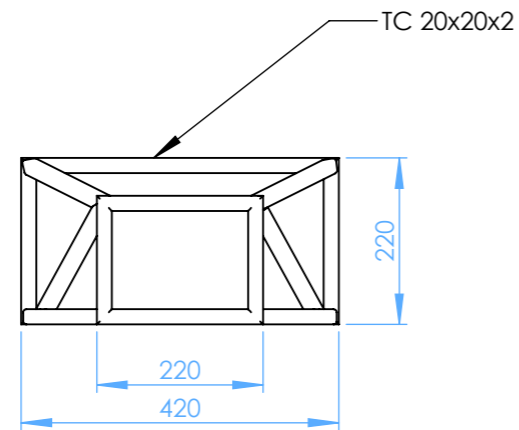
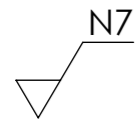
C

D

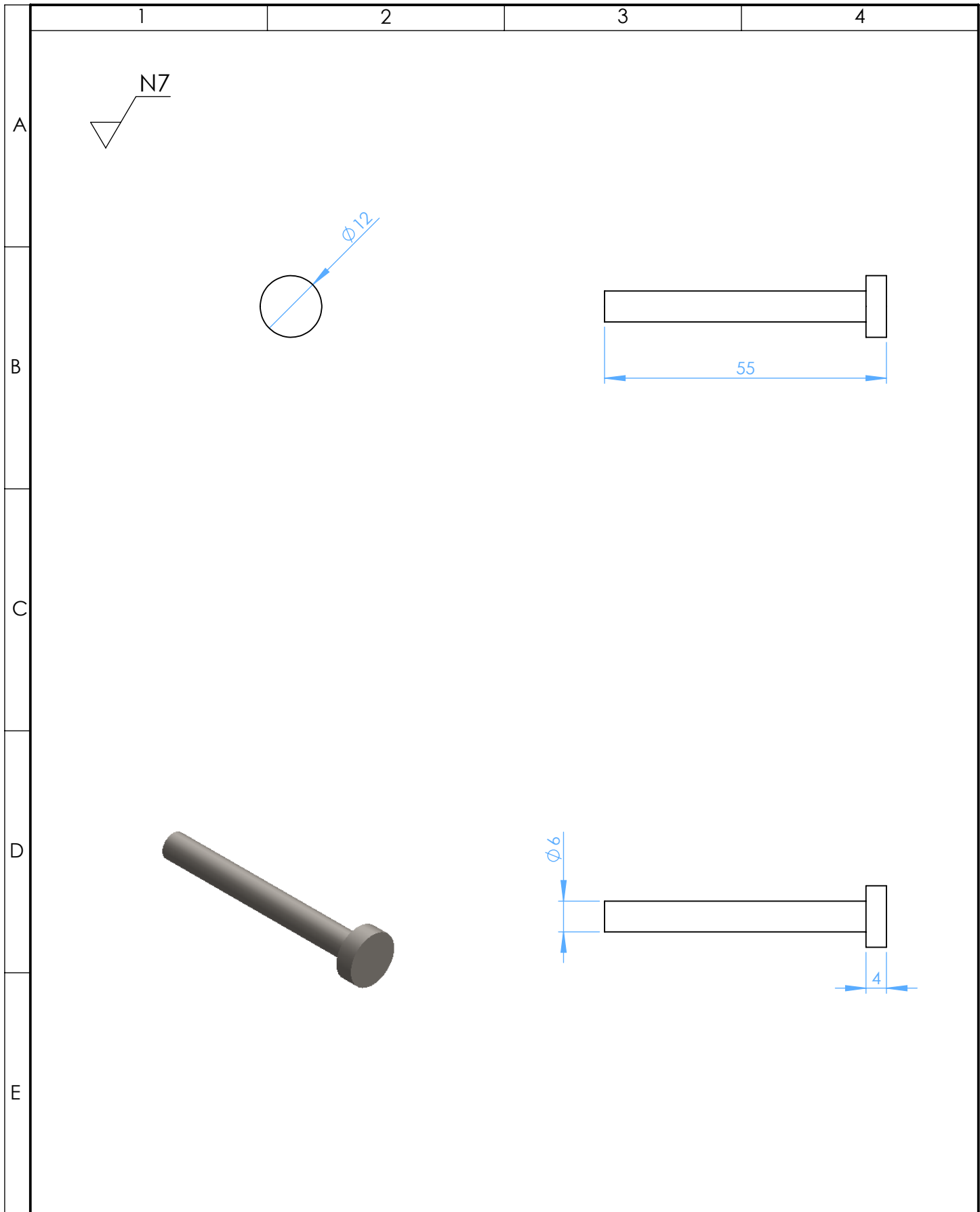
E

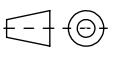


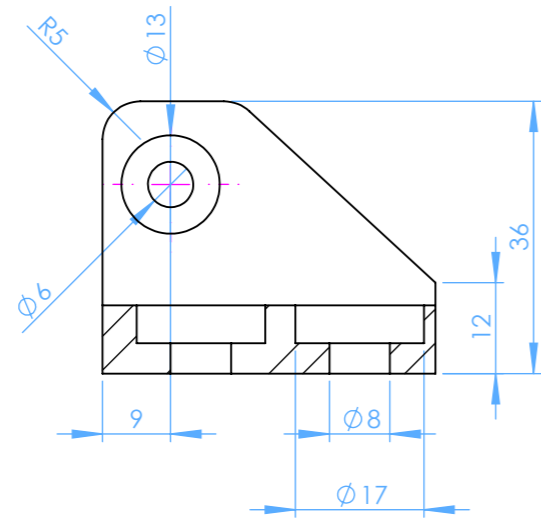
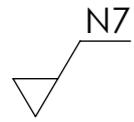
				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 0,52 Kg	ACERO INOXIDABLE AISI 316		
						SOPORTE SUPERIOR ANTENA	Escala: 1:5	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-004		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



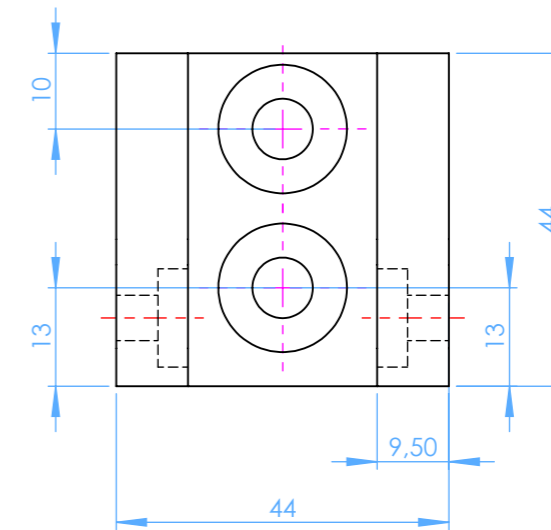
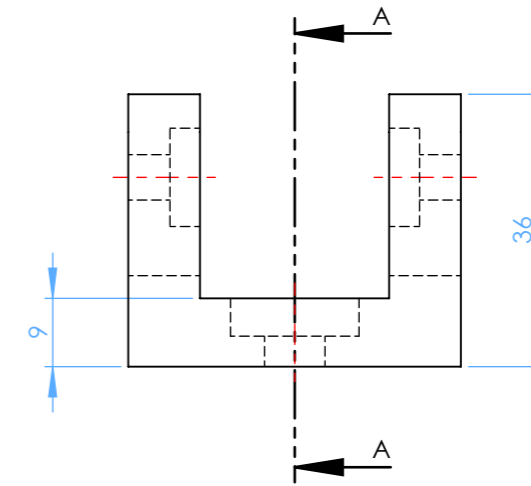
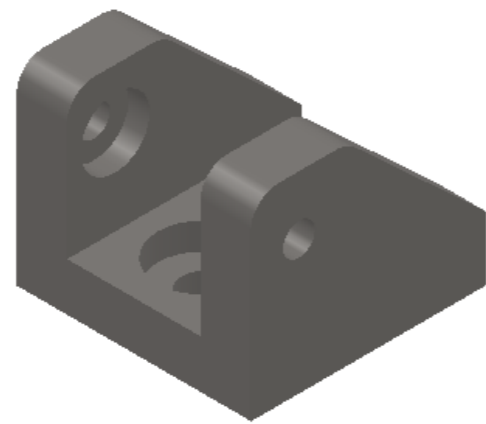
				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 6.79 Kg	ACERO ASTM A 36		
						ESTRUCTURA SUPERIOR MOVIL	Escala: 1:10	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-005		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



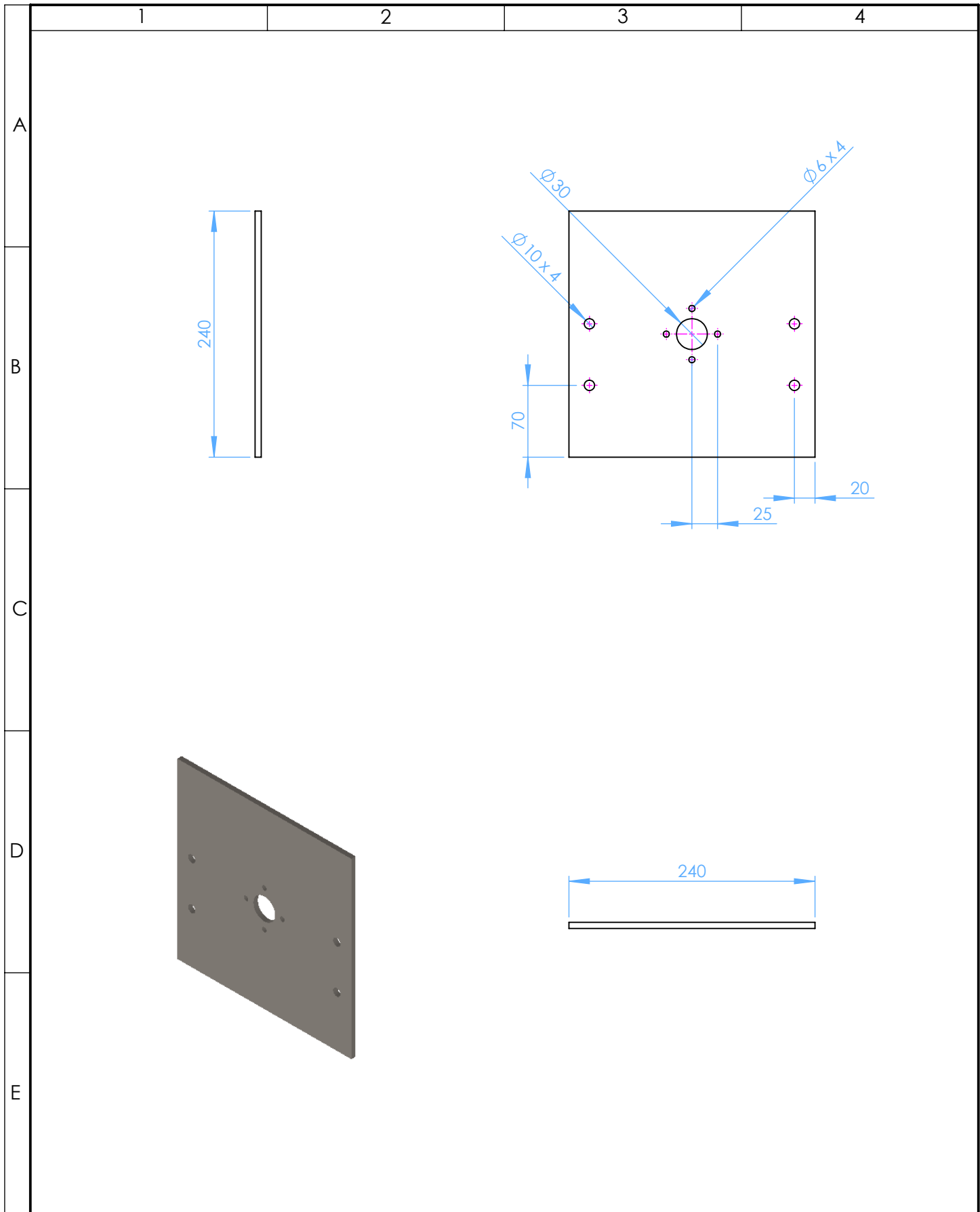
				Tolerancia: ±0,01mm	Peso 0,01 Kg	ACERO ASTM A 36		
						PASADOR DEL ACTUADOR LINEAL	Escala:	
							1:1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	ESPE Ing. Electromecánica		EAA-006		



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:1

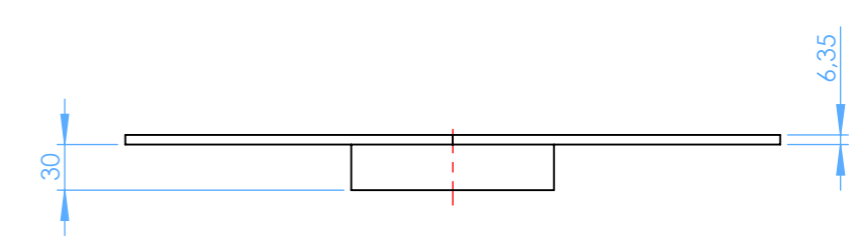
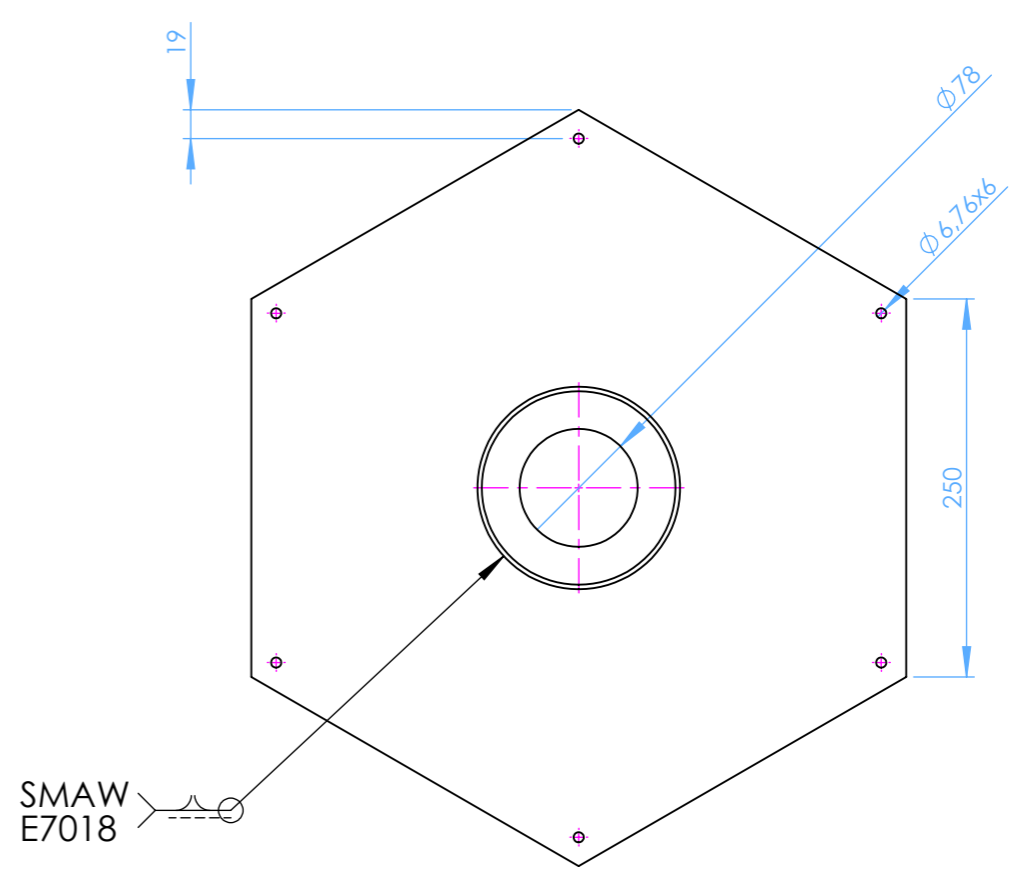
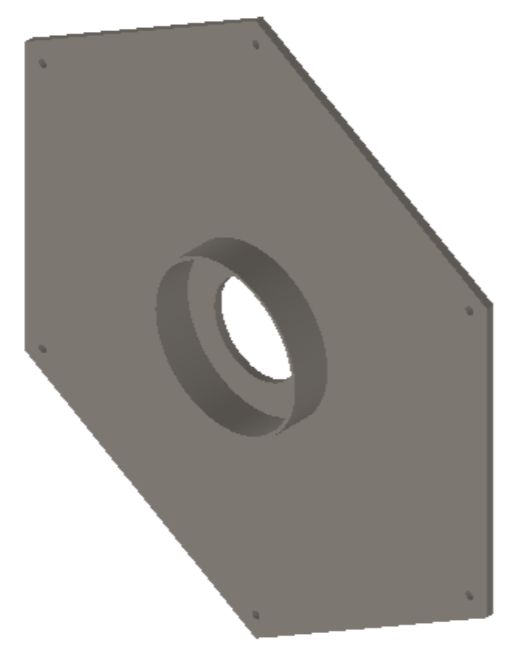
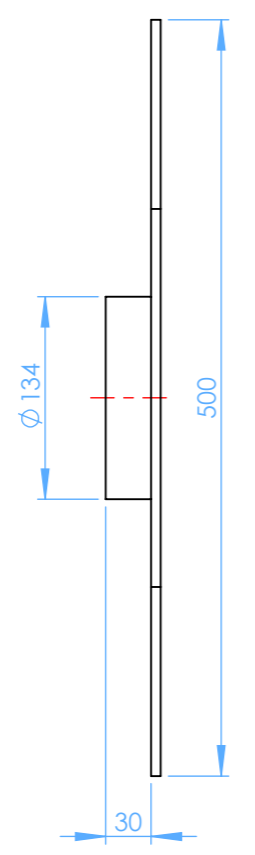


				Tolerancia: $\pm 0,1\text{mm}$	Peso 0.24 Kg	ACERO ASTM A 36	
						SOPORTE DEL ACTUADOR LINEAL	Escala: 1:1
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.
				Apro:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-007	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

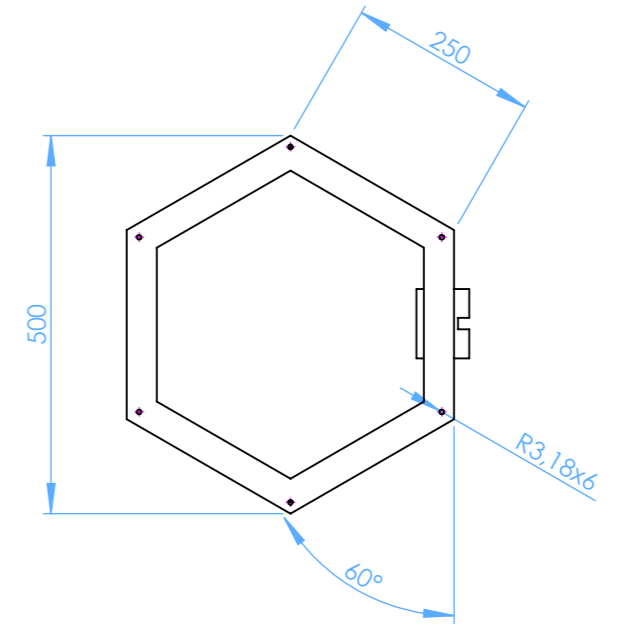
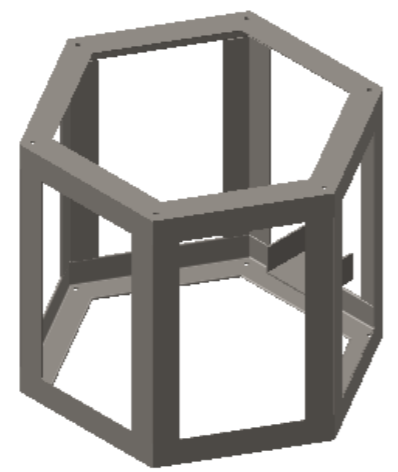
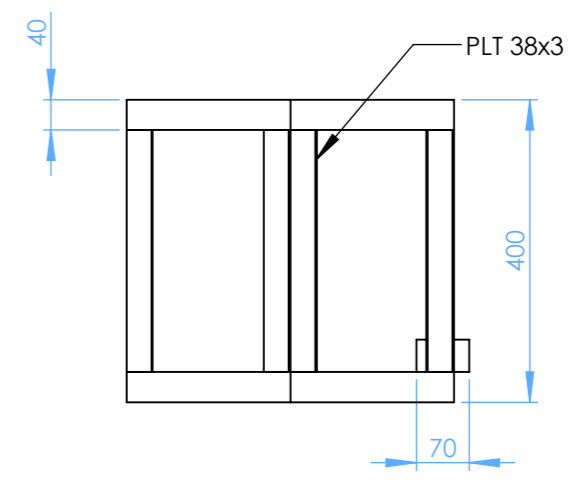
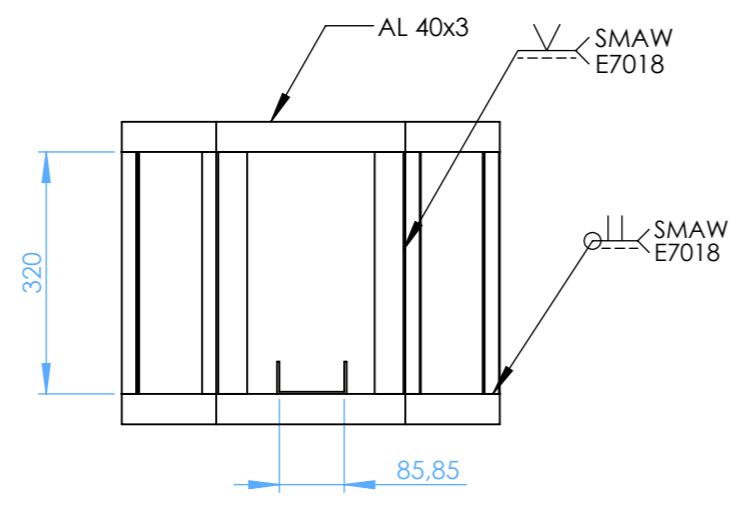


				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 2.66 Kg	ACERO ASTM A 36		
						BASE PARA ESTRUCTURA SUPERIOR	Escala: 1:5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	ESPE Ing. Electromecánica		EAA-008		

N9

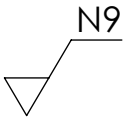


				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 8.16 Kg	ACERO AISI 1010	
				Fecha	Nombre	CUBIERTA SUPERIOR	Escala:
				Dib: 01/06/2013	León - Guamán		1:5
				Rev: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				Apro: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.	EAA-009	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	ESPE Ing. Electromecánica			



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 8.83 Kg	ACERO ASTM A 36		
						ESTRUCTURA INFERIOR FIJA	Escala: 1:10	
				Dib: 01/06/2013	León - Guamán			
				Rev: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.			
				Apro: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.			
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-010		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

N9



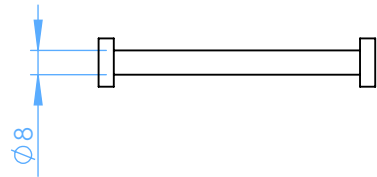
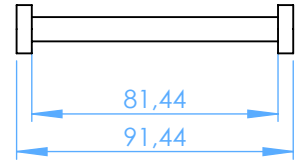
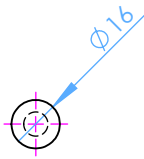
A

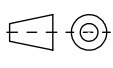
B

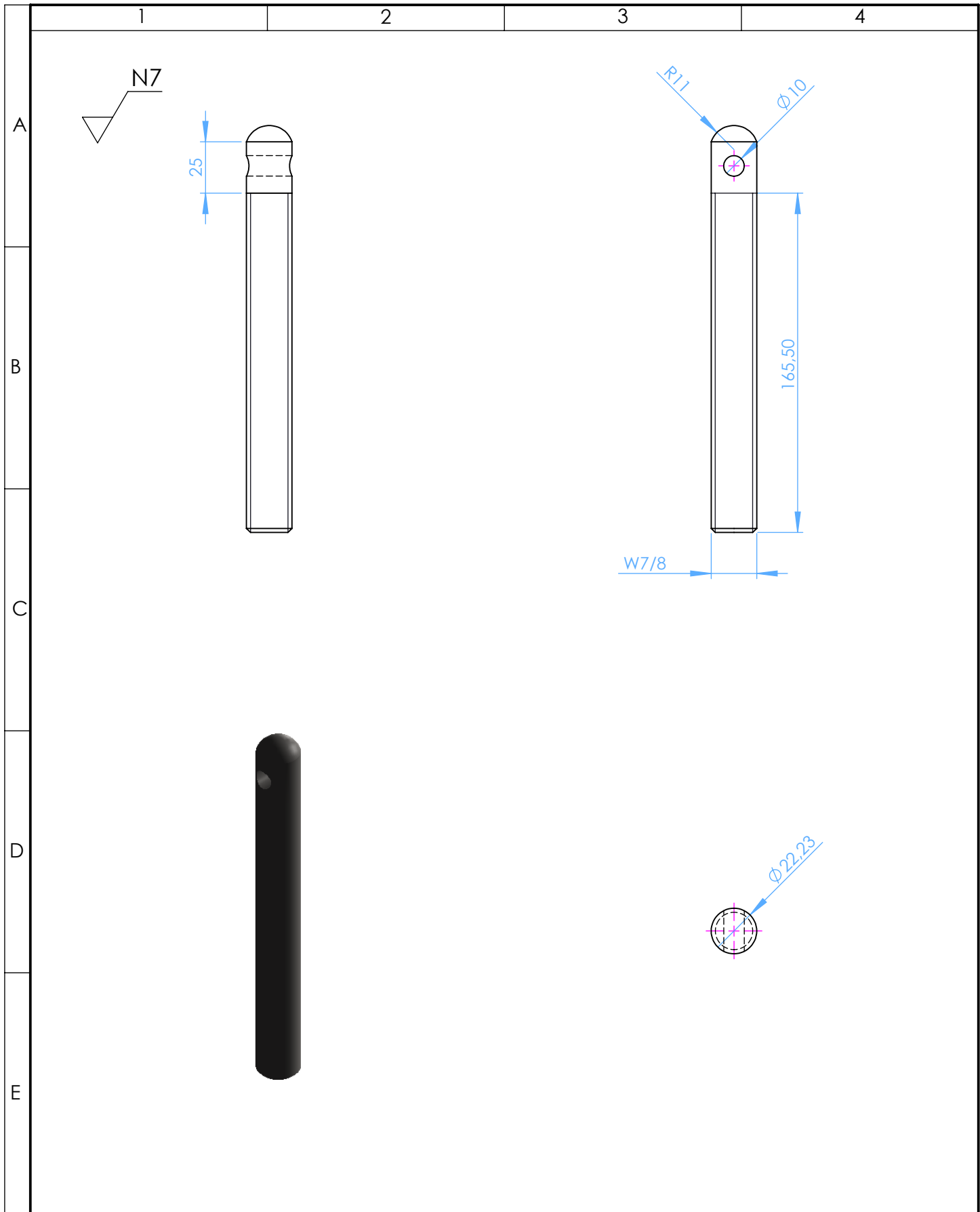
C

D

E



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 0.05 Kg	ACERO ASTM A 36		
						PALANCA DE TORNILLO DE POTENCIA	Escala: 1:2,5	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE		EAA-011		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Electromecánica				



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 0.584 Kg	ACERO AISI 1018		
						TORNILLO DE POTENCIA	Escala: 1:2,5	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-012		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

N9

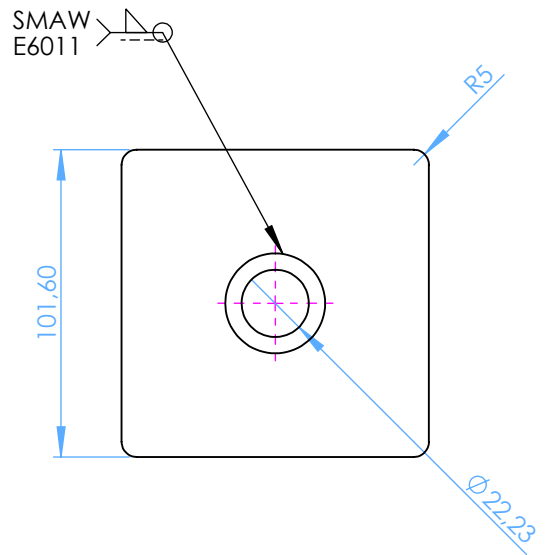
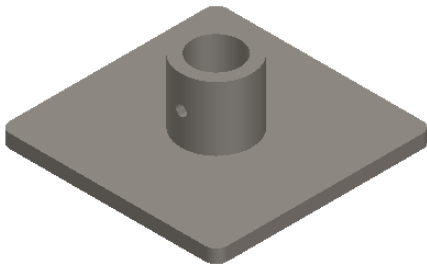
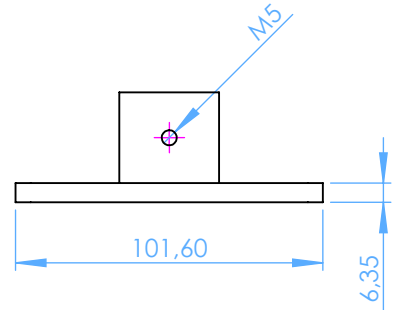
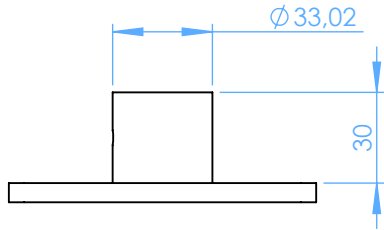
A

B

C

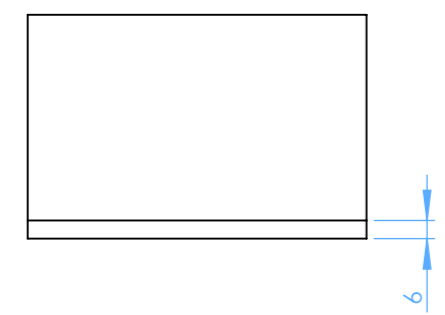
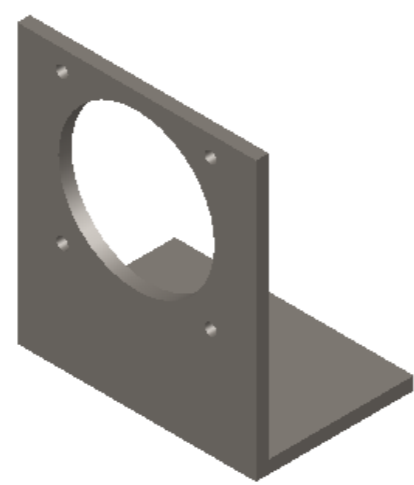
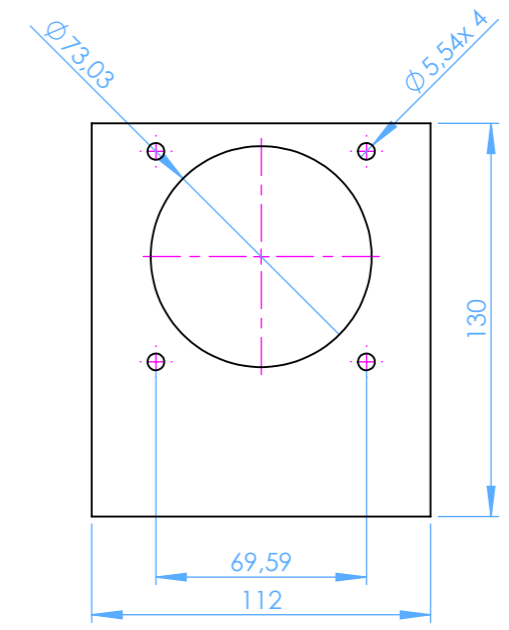
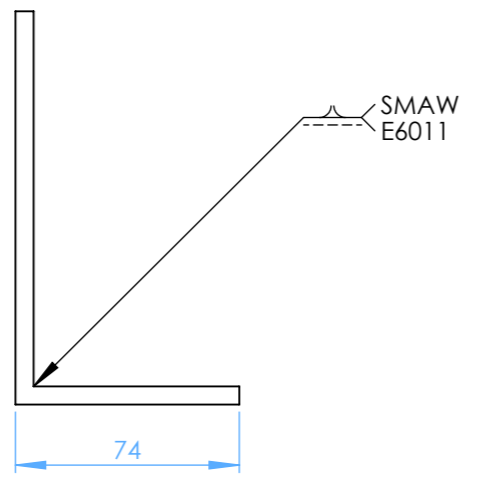
D

E

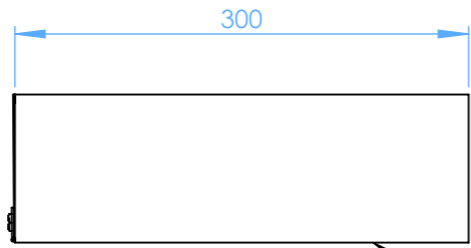
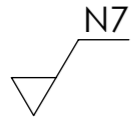


				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 0.62 Kg	ACERO ASTM A 36		
						BASE PLACA NIVELADORA	Escala: 1:2.5	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-013		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

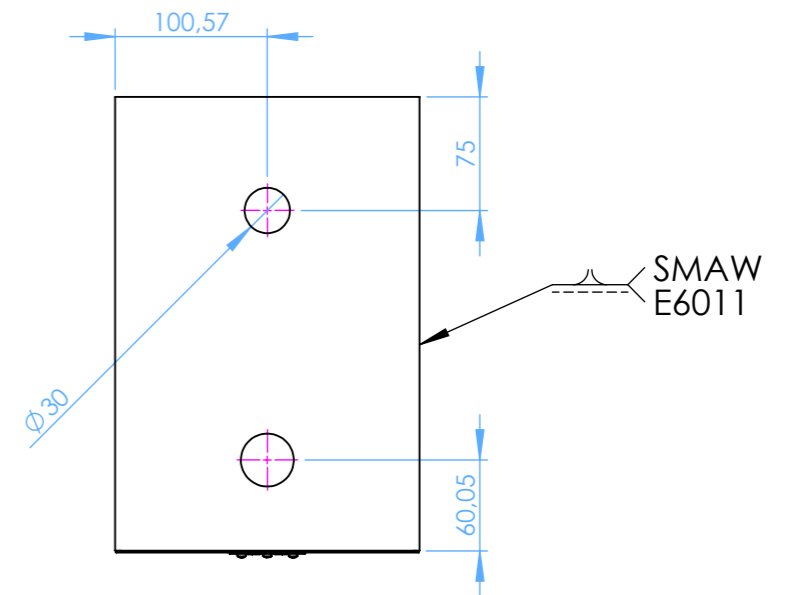
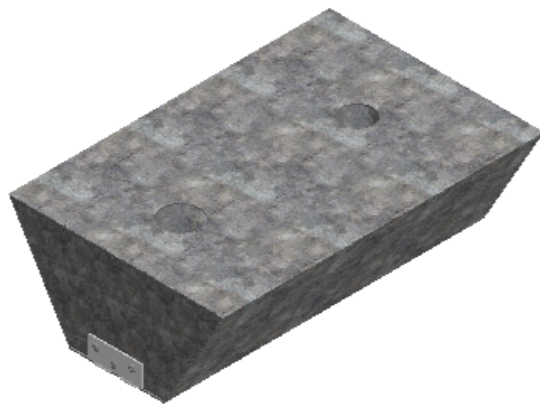
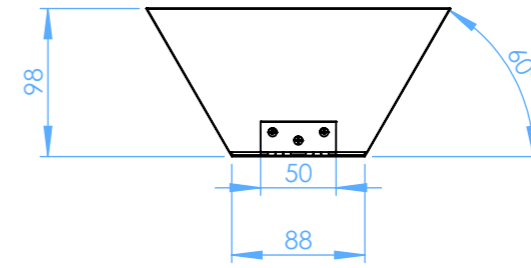
N7



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 0.84 Kg	ACERO ASTM A 36	
						SOPORTE MOTOR PAP	Escala: 1:2,5
				Dib: 01/06/2013	León - Guamán		
				Rev: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				Apro: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-014	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

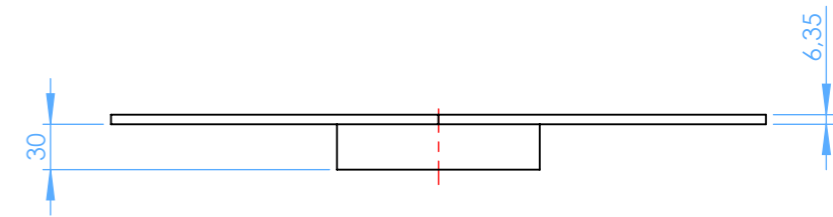
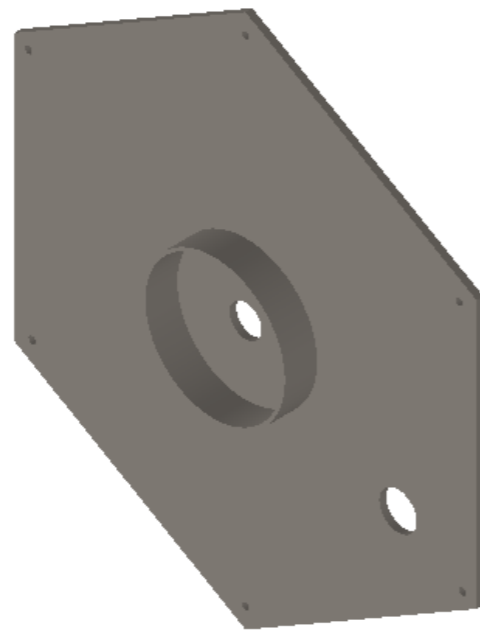
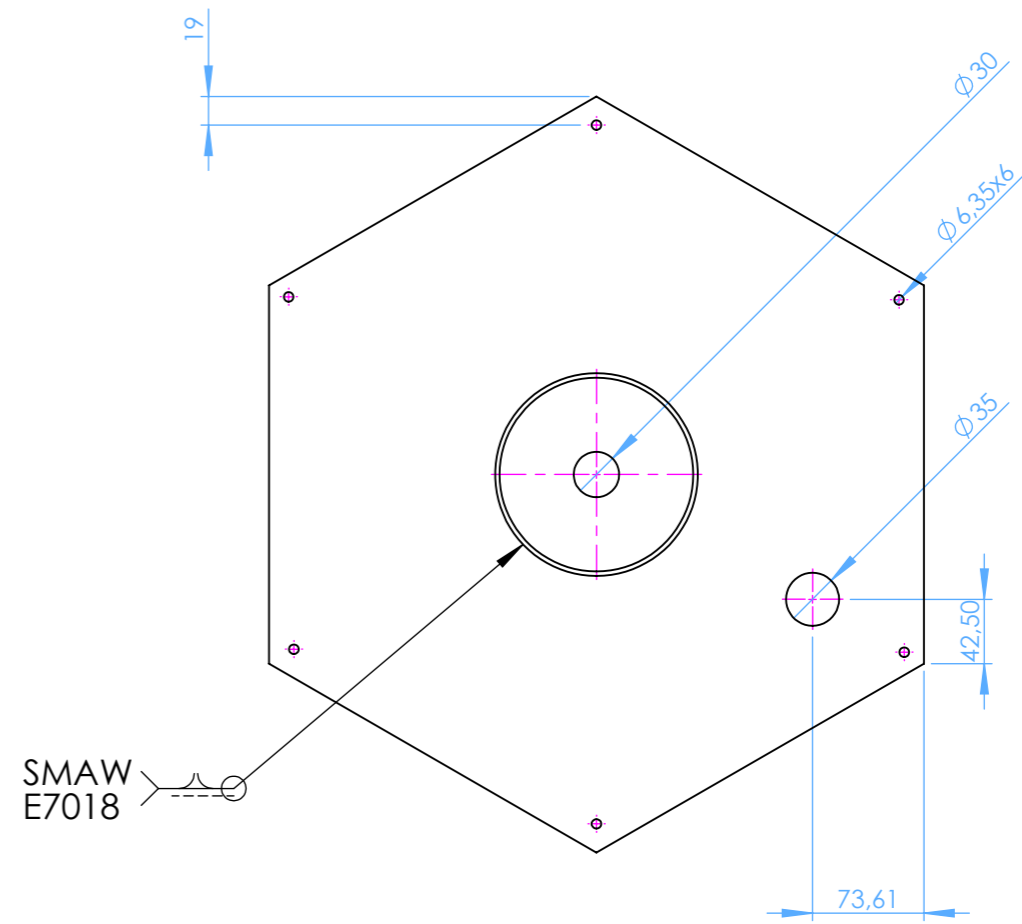
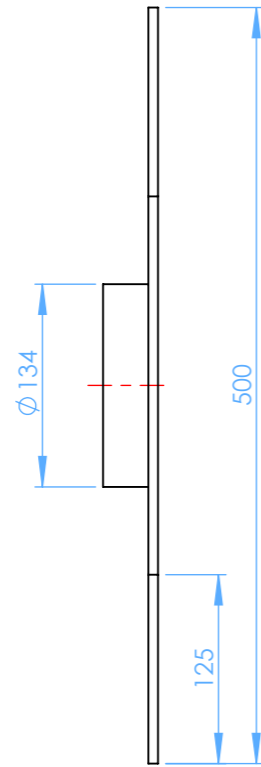


SMAW
E6011



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 1.69 Kg	ACERO ASTM A 653(GALVANIZADO)	
						CAJA INFERIOR DE CONMUTACIÓN	Escala: 1:5
				Dib: 01/06/2013	León - Guamán		
				Rev: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				Apro: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-015	
Edic- ción	Modificación	Fecha	Nombre				

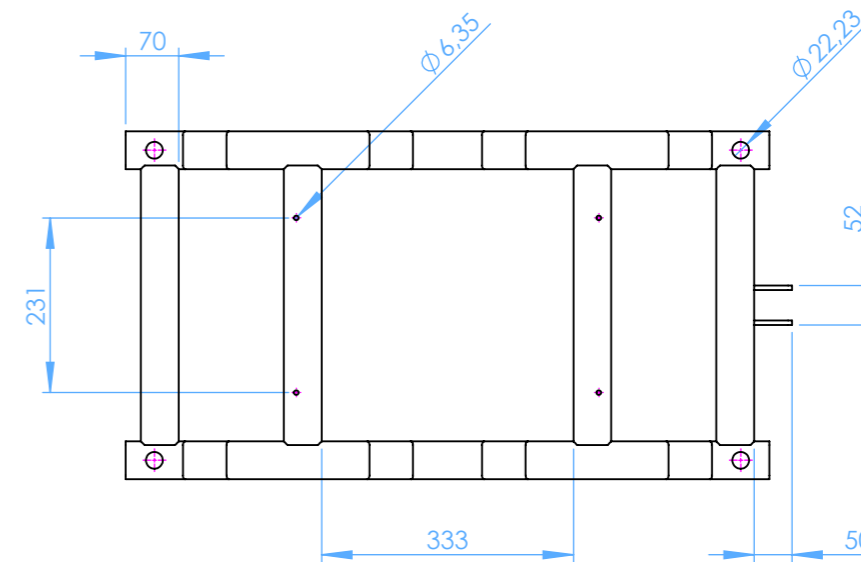
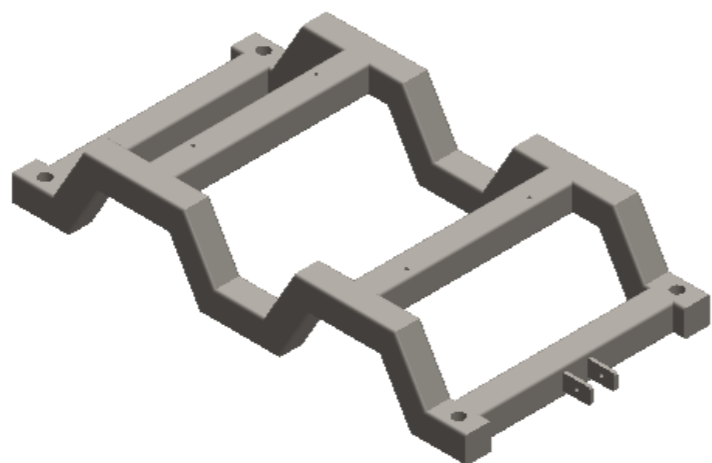
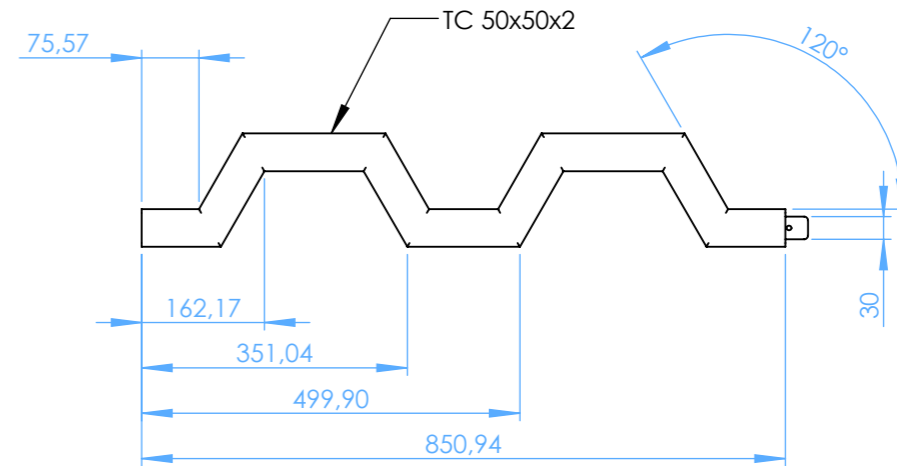
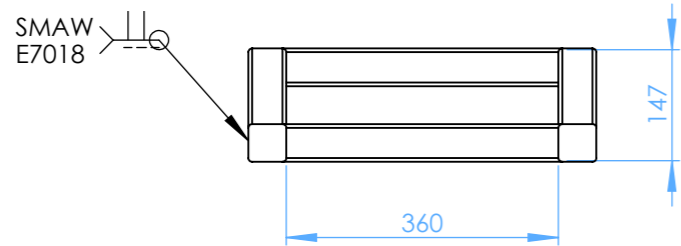
N9



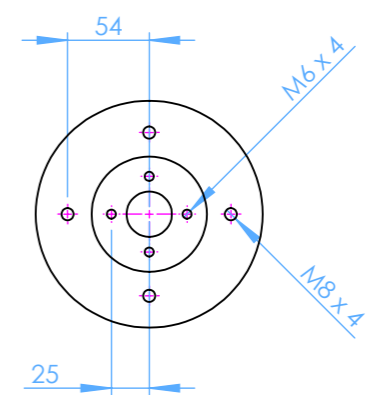
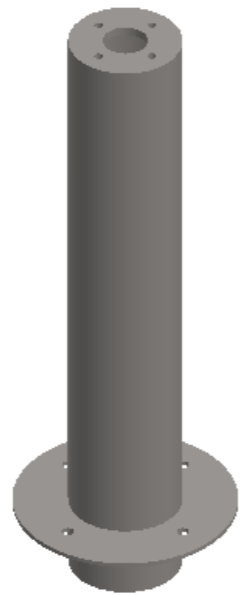
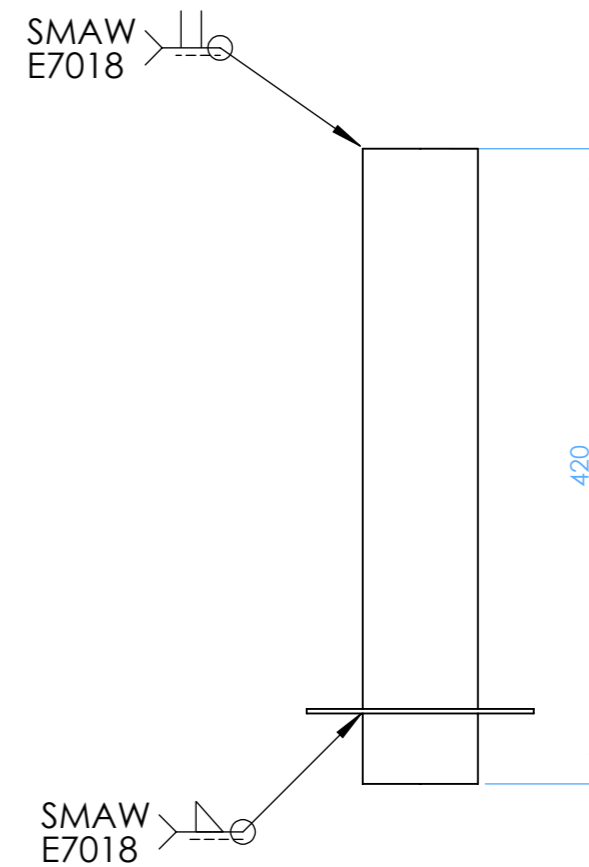
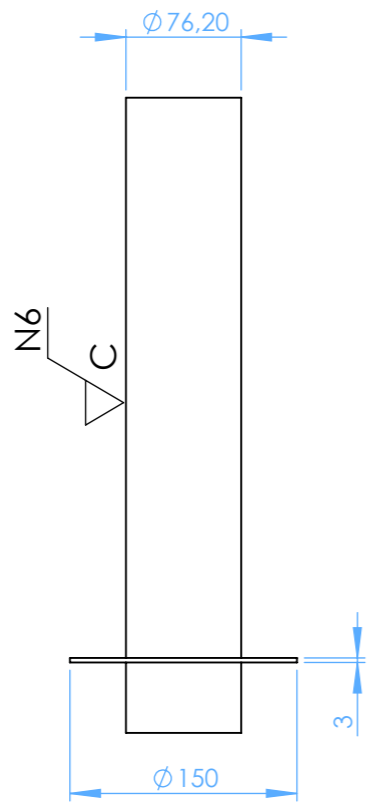
				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 8.31 Kg	ACERO AISI 1010		
						CUBIERTA INFERIOR	Escala: 1:5	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-016		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

N7

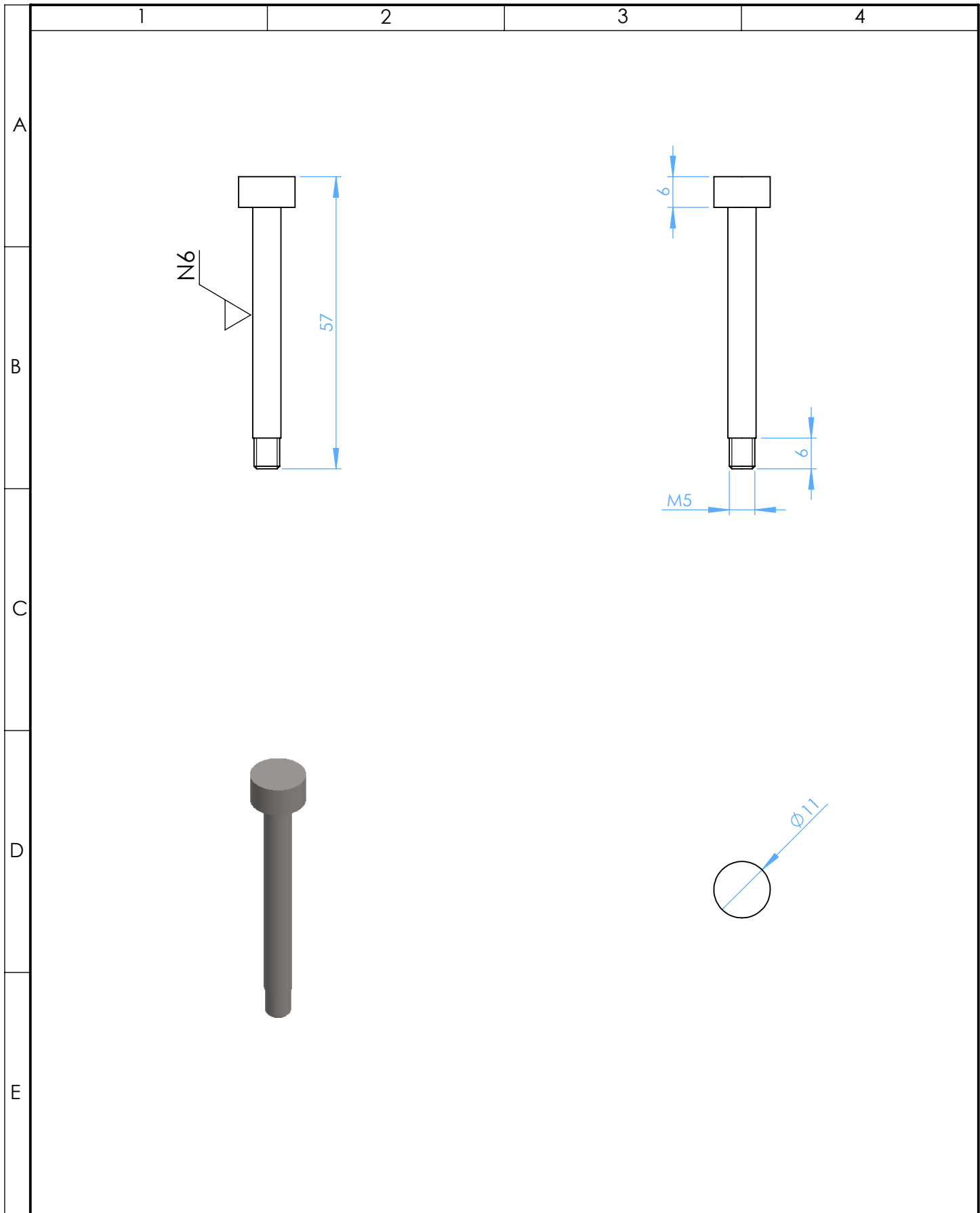
SMAW
E7018



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 8.40 Kg	ACERO ASTM A 36		
						CHASIS	Escala: 1:10	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-017		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 3.49 Kg	ACERO INOXIDABLE AISI 316		
						ARBOL PRINCIPAL	Escala: 1:5	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-018		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



				Tolerancia: ±0,01mm	Peso 0.01 Kg	ACERO INOXIDABLE AISI 316		
						PASADOR DEL PISTÓN	Escala: 1:1	
				Dib:	01/06/2013		León - Guamán	
				Rev:	01/06/2013		Ing. Manjarrés F.	
				Apro:	01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-019		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

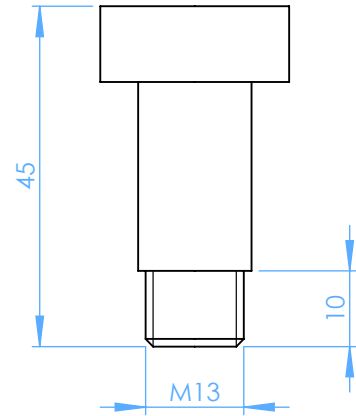
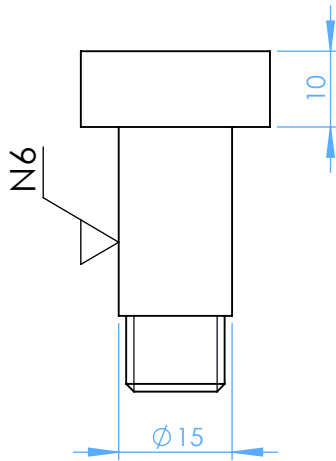
1

2

3

4

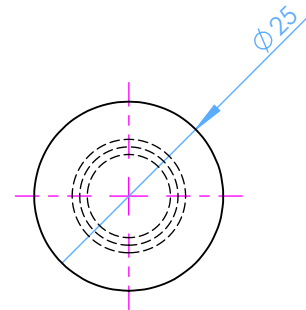
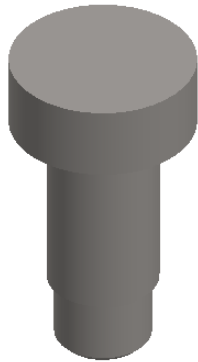
A



B

C

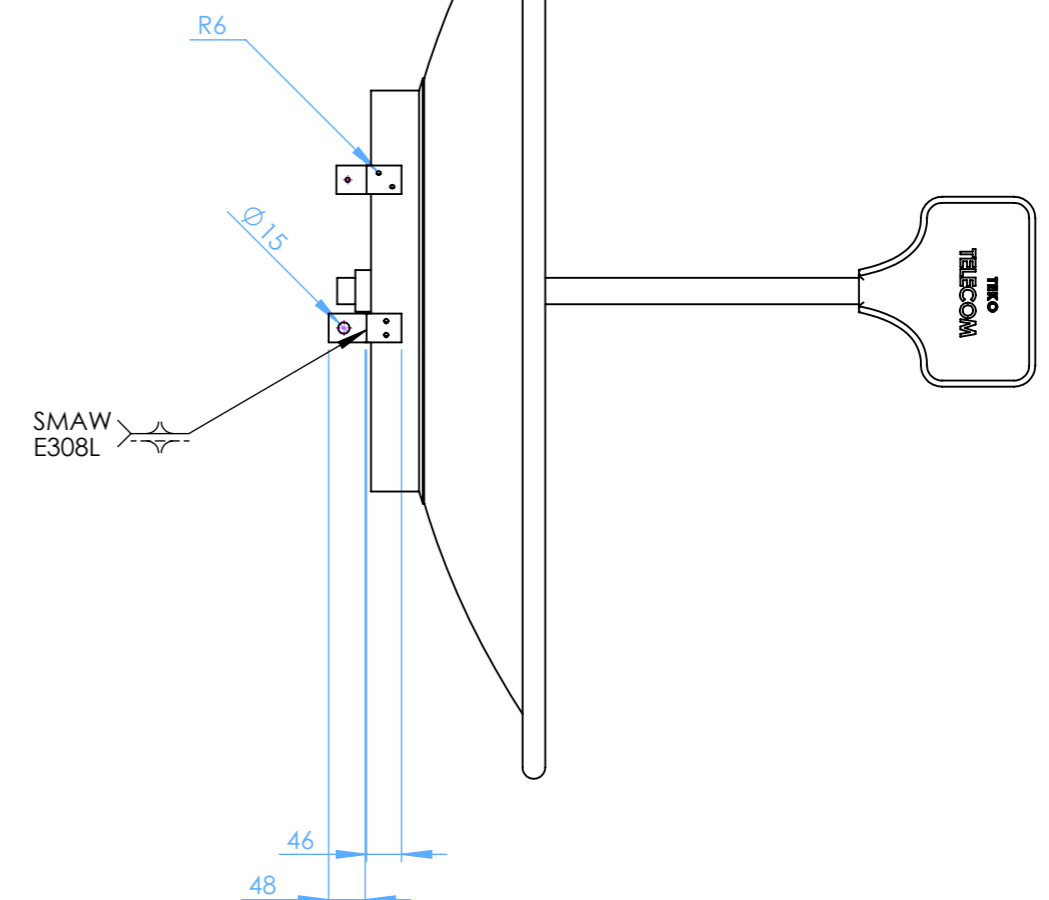
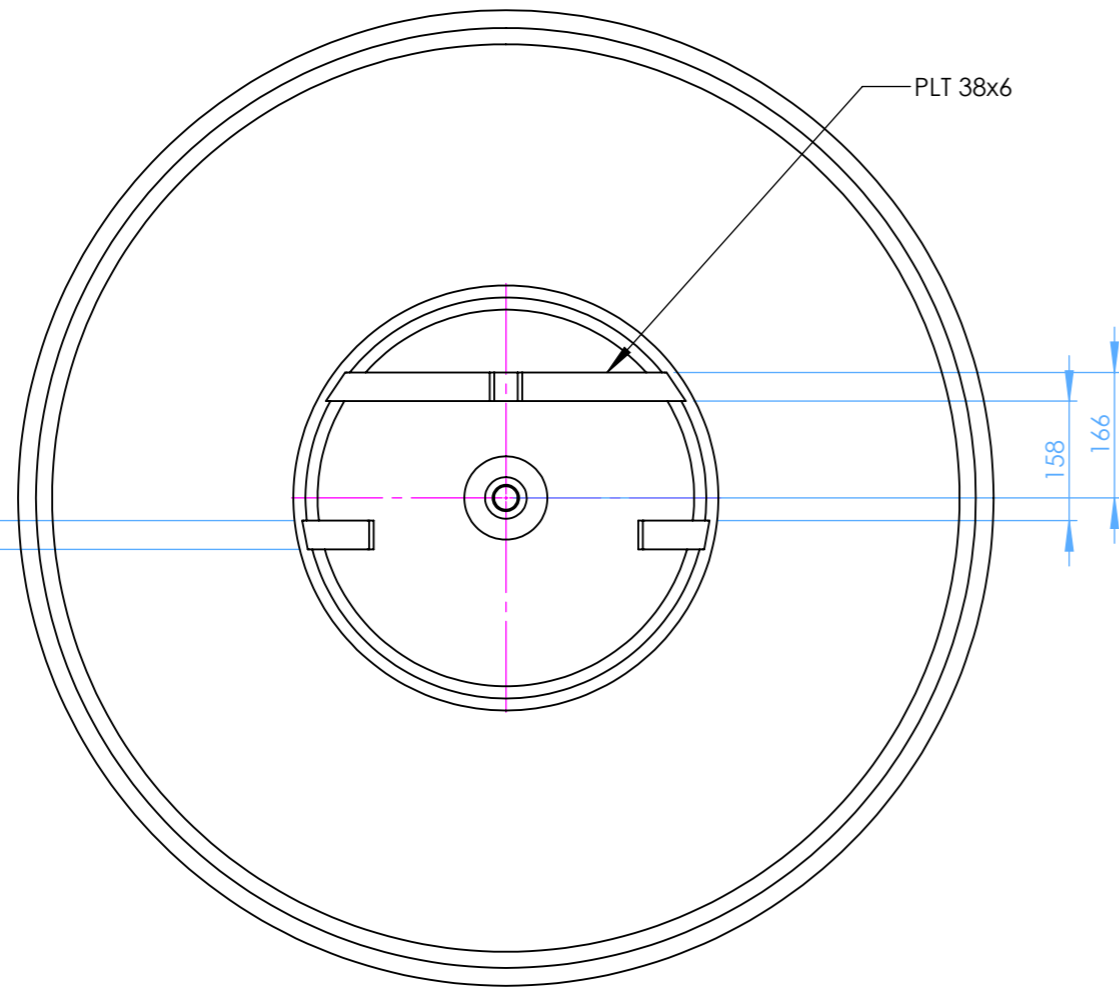
D



E

				Tolerancia: ±0,01mm	Peso 0.09 Kg	ACERO INOXIDABLE AISI 316	
						PASADOR DE LA ANTENA	Escala: 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dib: 01/06/2013	León - Guamán		
				Rev: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				Apro: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-020	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

N7



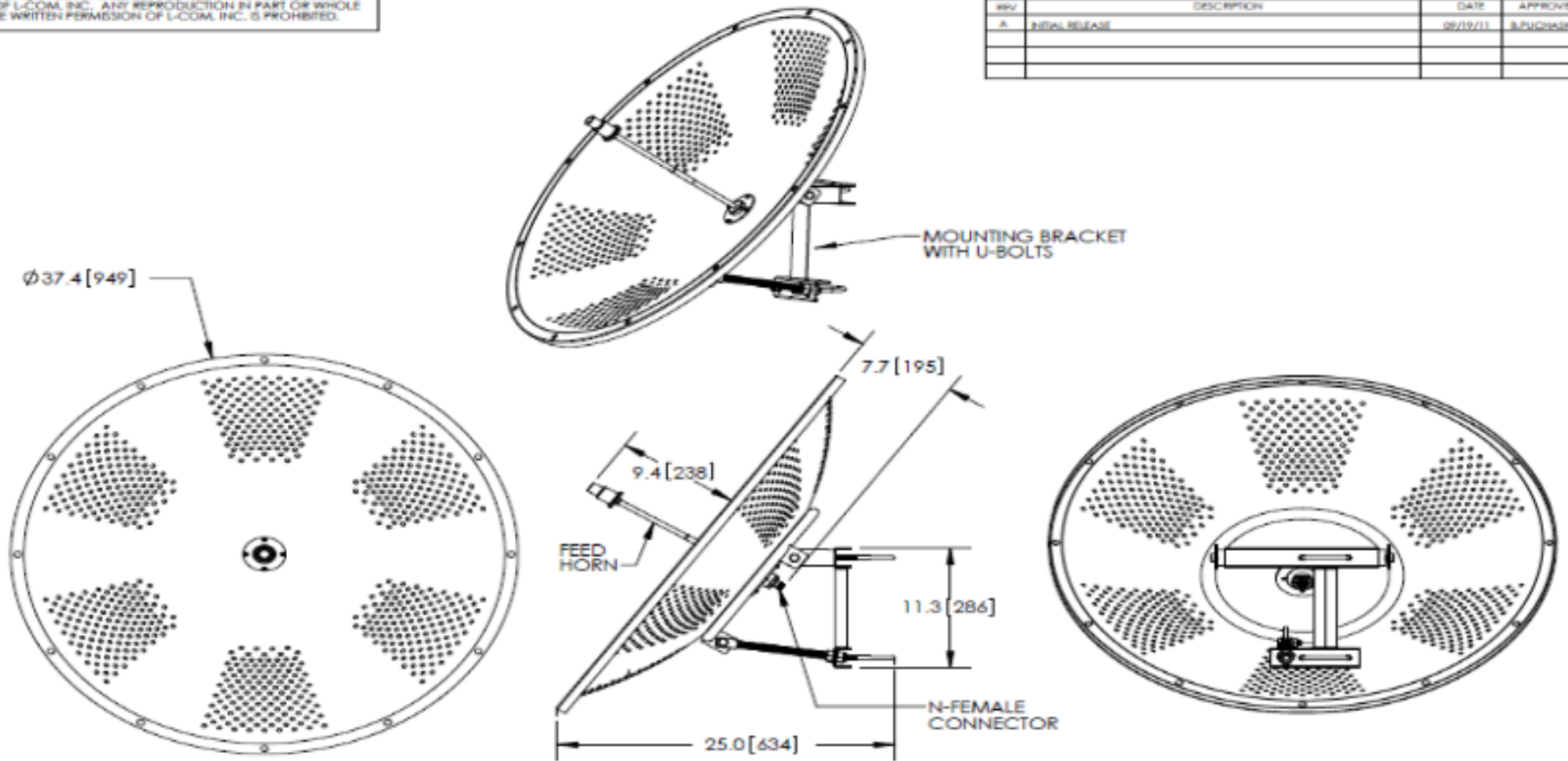
Escala 1:20

				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 13.23 Kg	ACERO AISI 316	
						ANTENA TEKO P008L	Escala: 1:10
				Dib: 01/06/2013	León - Guamán		
				Rev: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				Apro: 01/06/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		EAA-021	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

DIMENSIONES ANTENA L-COM XA-D09

THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF L-COM, INC. ANY REPRODUCTION IN PART OR WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF L-COM, INC. IS PROHIBITED.

REVISIONS			
REV.	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
A	INITIAL RELEASE	09/19/11	J.P. (20428)



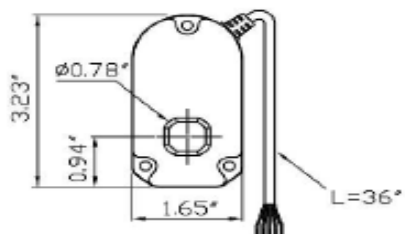
NOTES:
 PACKAGING:
 COMPONENT SHALL BE PACKAGED IN ACCORDANCE WITH L-COM SPEC PKG-00083
 - ALL DIMENSIONS FOR REFERENCE -

RoHS Compliant ✓

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN INCHES (MM) DIMENSIONAL TOLERANCES: X ± .1 X.X ± .01 X.XX ± .005	APPROVALS	DATE	Global Connectivity 45 BEECHWOOD DRIVE NORTH ANDOVER, MA 01845
	DESIGNED BY P.PISA	09/19/11	
ANGULAR TOLERANCES: ALL ± 1°	APPROVED BY P.PISA	09/19/11	CATEGORY ANTENNA
PROJECTION 	CONFIGURATION DETAILS OF UNDIMENSIONED FEATURES MAY VARY	COLOR VARIATIONS MAY OCCUR	PRODUCT DESCRIPTION 4.9GHz 30.5dBi PARABOLIC DISH ANTENNA W/N-FEMALE CONNECTOR
			SIZE A
			ITEM NO. 43321 DWG. NO. HG4931D SCALE: NONE CAD FILE: HG4931D.DWG
			REV. A

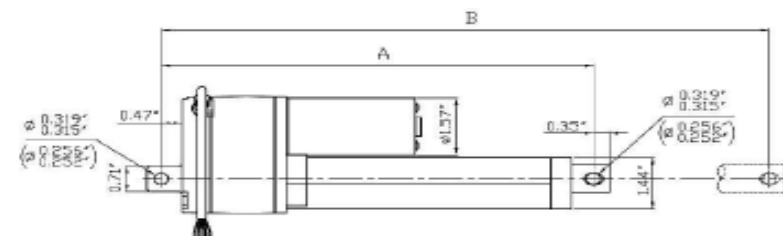
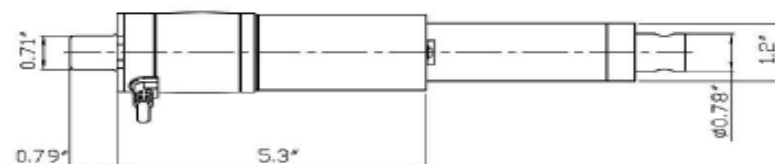
DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL ACTUADOR LINEAL ELÉCTRICO LACT12P

Gear Ratio	No Load speed(in/s)	Max. Load(lbs)
5:1	1.8"	34
10:1	1.1"	56
20:1	0.6"	112
30:1	0.4"	167
40:1	0.28"	222
Motor Speed	6000rpm	
Input	12V / 24V(DC)	



Stroke	(Ohm/in)
2"	4.7K
4"	2.35K
6"	1.4K
8"	1.18K
10"	0.9K
12"	0.75K


WIRE COLOR	COMMENT
RED	MOTOR(+)
BLACK	MOTOR(-)
WHITE	GROUND
YELLOW	V INPUT
BLUE	RS INPUT



Stroke	2"	4"	6"	8"	10"	12"
Retracted Length (A±0.12")	7.7"	9.7"	11.7"	13.7"	15.7"	17.7"
Extended Length (B±0.12")	9.6"	13.6"	17.6"	21.6"	25.6"	29.6"

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL

THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF IOWA EXPORT-IMPORT. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF IOWA EXPORT-IMPORT IS PROHIBITED.

				Units	Inches	Part Name
				Tolerances		
Revision	Date	Drawn By	Description	Materials		Part No. LACT2P - LACT12P
A	5/25/2010	KO	LD Series Actuator with Potentiometer	Finish	None	
B				Scale	A	
C				Revision		
D				Comments:		

ANEXO C

**DATOS Y ESTADÍSTICAS RELACIONADAS
CON EL APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO
DE ANTENAS**

REGISTRO DE HORAS DE VUELO CUMPLIDAS POR EL PROTOTIPO UAV O DEL PROYECTO UAV

REGISTRO DE HORAS DE VUELO CUMPLIDAS POR EL PROTOTIPO UAV O DEL PROYECTO UAV					
MARZO DEL 2012					
FECHA	TIEMPO DE VUELO(min)	TIEMPO DE VUELO UAV	PERIODOS	NOVEDADES	PILOTO
28-mar-12	16		2		Uwe Nichelsen
29-mar-12	17		2		Uwe Nichelsen
30-mar-12	47		3		Uwe Nichelsen
TOTAL.	80	0	7		
ABRIL DEL 2012					
02-abr-12	33		2		Uwe Nichelsen
10-abr-12	21		2		Uwe Nichelsen
16-abr-12	42		2		Uwe Nichelsen
17-abr-12	34		2		Uwe Nichelsen
18-abr-12	17		1		Uwe Nichelsen
19-abr-12	36		2		Uwe Nichelsen
20-abr-12	30		2		Uwe Nichelsen
24-abr-12	40		3		Uwe Nichelsen
25-abr-12	14		1		Uwe Nichelsen
26-abr-12	29		2		Uwe Nichelsen
30-abr-00	14		1		Uwe Nichelsen
TOTAL.	310	0	20		
MAYO DEL 2012					
03-may-12	29		2		Uwe Nichelsen
07-may-12	23		1		Uwe Nichelsen
09-may-12	18		1		Uwe Nichelsen
14-may-12	40		2		Uwe Nichelsen
15-may-12	19		1		Uwe Nichelsen
16-may-12	13	16	2		Uwe Nichelsen
23-may-12	17		1		Uwe Nichelsen
30-may-12	24		2		Uwe Nichelsen
31-may-12	27		1		Uwe Nichelsen
TOTAL.	210	16	13		
JUNIO DEL 2012					
18-jun-12	14	5	2		Uwe Nichelsen
19-jun-12	28	8	3		Uwe Nichelsen
27-jun-12	20		1		Uwe Nichelsen
TOTAL.	62	13	6		
JULIO DEL 2012					
15-jul-12	13		1		Uwe Nichelsen
16-jul-12	15		1		Uwe Nichelsen
17-jul-12	31	7	2		Uwe Nichelsen
19-jul-12	17		2		Uwe Nichelsen
23-jul-12	21		1		Mayo. Armas
24-jul-12	5		2		Mayo. Armas
27-jul-12	22		1		Mayo. Armas
30-jul-12	20		1		Mayo. Armas
31-jul-12	20		2		Mayo. Armas
TOTAL.	164	7	13		

AGOSTO DEL 2012					
01-ago-12	26		1		Mayo. Armas
02-ago-12	16		1		Mayo. Armas
06-ago-12	27		2		Mayo. Armas
07-ago-12	29		2		Mayo. Armas
13-ago-12	25		1		Sgos. Carrillo E
15-ago-12	25		2		Sgos. Carrillo E
16-ago-12	18		1		Mayo. Armas
17-ago-12	25		1		Sgos. Carrillo E
20-ago-12	20		1		Sgos. Carrillo E
21-ago-12	12		1		Sgos. Carrillo E
22-ago-12	19		1		Sgos. Carrillo E
23-ago-12	41		1		Uwe Nichelsen
29-ago-12	13		1		Uwe Nichelsen
TOTAL.	296	0	16		
SEPTIEMBRE DEL 2012					
05-sep-12	21		1		Sgos. Carrillo E
10-sep-12	10	5	1		Uwe Nichelsen
11-sep-12	22		2		Uwe Nichelsen
12-sep-12	12	32	1	vuelo UAV salcedo	Uwe Nichelsen
20-sep-12	17		1		Sgos. Carrillo E
25-sep-12	20		1		Uwe Nichelsen
TOTAL	102	37	7		
OCTUBRE DEL 2012					
01-oct-12	8		1		Sgos. Carrillo E
TOTAL	8	0	1		

REGISTRO DE HORAS DE VUELO CUMPLIDAS POR EL PROTOTIPO 15T1 DEL PROYECTO PGA

REGISTRO DE HORAS DE VUELO CUMPLIDAS POR EL PROTOTIPO 15T1 DEL PROYECTO PGA					
SEPTIEMBRE DEL 2010					
FECHA	TIEMPO DE VUELO(min)	TIEMPO DE VUELO UAV	PERIODOS	NOVEDADES	PILOTO
29-sep-10	10		3	Ruptura del patin de cola por aterrizaje forzoso.	SR. MOSQUERA D.
					SR. MOSQUERA D.
TOTAL.	10		3		
NOVIEMBRE DEL 2010					
10-nov-10	23	3	1		
16-nov-10	7		1	Pierde sustentacion golpea el piso y pierde enlace	SR. MOSQUERA D.
17-nov-10	5		1	Se pierde control de motores	SR. MOSQUERA D.
19-nov-10	20		1		SR. MOSQUERA D.
23-nov-10	9		1		SR. MOSQUERA D.
24-nov-10	28		1	gondola se ubica 50 cm mas atrás.	SR. MOSQUERA D.
29-nov-10	8		1	vuelo de prueba del sistema MP 2128 LRC	SR. MOSQUERA D.
TOTAL.	100	3	7		
DICIEMBRE DEL 2010					
07-dic-10	42		1	Llega a una altura de 1500m	SR. MOSQUERA D.
09-dic-10	34		1		SR. MOSQUERA D.
14-dic-10	22		3	vuelo de entrenamiento del piloto	SGOS.CARRILLO.
19-dic-10	22		2		SGOS.CARRILLO.
TOTAL.	120	0	7		
MARZO DEL 2011					
01-mar-11	17		1		SGOS.CARRILLO.
11-mar-11	22		1	Se aumenta 8Kg de lastre sin Eq. De coms.	SGOS.CARRILLO.
15-mar-11	22		1	Pierde enlace distancia 3Km altura 780m	SGOS.CARRILLO.
16-mar-11	24		1	Motor de cola sin señal	SGOS.CARRILLO.
24-mar-11	8		1	Prueba de enlaces	CAPT. ARMAS P.
25-mar-11	9		1	Prueba de enlaces	CAPT. ARMAS P.
TOTAL.	102	0	6		
ABRIL DEL 2011					
05-abr-11	14		2	Prueba de micropiloto, control manual y UAV	SGOS.CARRILLO.
14-abr-11	29		2	Prueba de micropiloto, control manual y UAV	CAPT. ARMAS P.
20-abr-11	26		2	Prueba de enlaces	SGOS.CARRILLO.
26-abr-11	34		1	Prueba de enlaces	CAPT. ARMAS P.
TOTAL.	103	0	7		

MAYO DEL 2011					
04-may-11	24		1	Vuelo de demostracion	CAPT. ARMAS P.
TOTAL.	24	0	1		
AGOSTO DEL 2011					
23-ago-11	11		1	Prueba de enlaces	CAPT. ARMAS P.
24-ago-11	16		2	Prueba de enlaces	CAPT. ARMAS P.
25-ago-11	8		3	Aterrizaje forzoso, se realiza vuelo de prueba ok.	CAPT. ARMAS P.
TOTAL.	35	0	6		
SEPTIEMBRE DEL 2011					
09-sep-11	13		1	Prueba de enlaces	CAPT. ARMAS P.
28-sep-11	8		3	Prueba de enlaces	CAPT. ARMAS P.
29-sep-11	17		2	Control piloto interno/externo	CAPT. ARMAS P.
TOTAL.	38	0	6		
OCTUBRE DEL 2011					
11-oct-11	5		1	Prueba de enlaces	CAPT. ARMAS P.
TOTAL.	5	0	1		
			44		
TOTAL	540 min				
TOTAL	9 horas				

ANEXO D

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS
MÓDULOS NI UTILIZADOS**

Especificaciones técnicas del Crio-9014

General	
Producto	cRIO-9014
Tipo de Producto	Controller (Computing Device)
Formato Físico	CompactRIO
Número de Parte	779564-01
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time
Controlador	
Tipo de Controlador	Rugged Performance
Núcleos del Procesador	PowerPC
Frecuencia del Reloj del CPU	400 MHz
Memoria del Sistema	128 MB
Producto de Legado	No
Ethernet (# of ports)	1
Tipo de Puerto Ethernet	100BaseT , 10BaseT
Puertos Seriales (RS232)	1
Puertos USB	Sí
Chasis	
Número de Ranuras	0
Rango de Entrada de Voltaje	6 V - 35 V
Fuente de Alimentación Recomendada Potencia	48
Fuente de Alimentación Recomendada Voltaje	24
Consumo de Potencia	20
Especificaciones Físicas	
Longitud	8.81 cm
Ancho	7.73 cm
Altura	9.02 cm
Peso	488 gram
Temperatura de Operación	-40 °C a 70°C
Máxima Altitud	2000 m

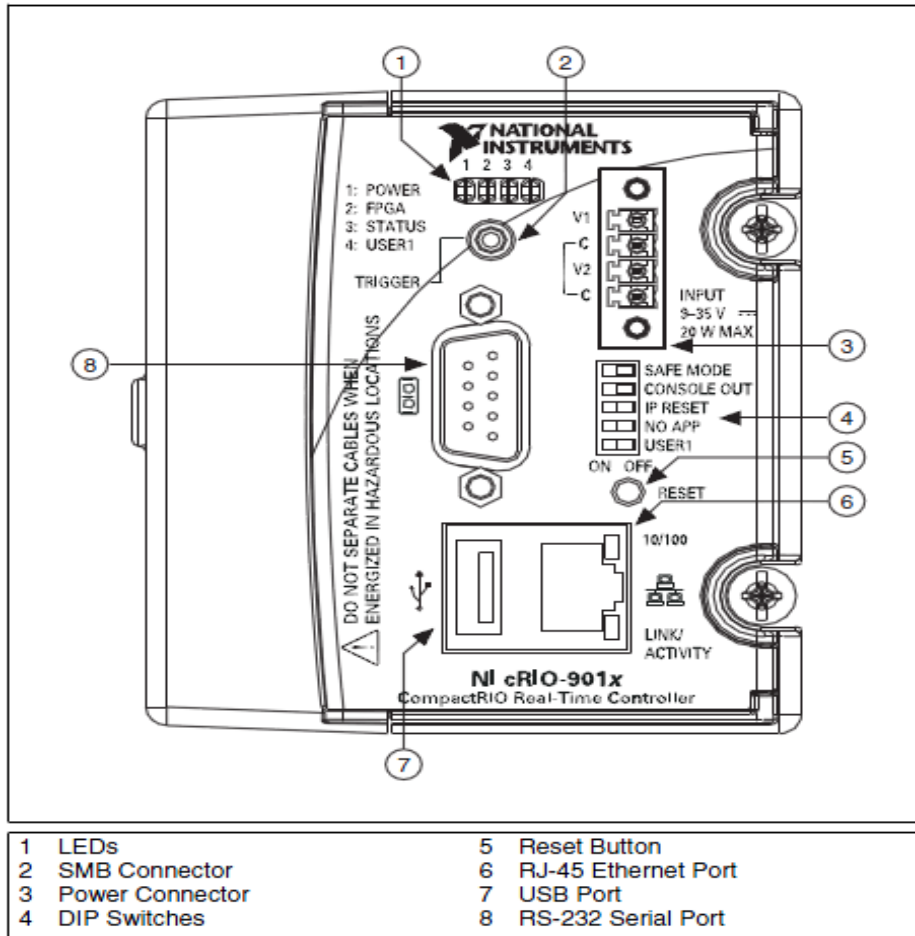


Figure 1. CompactRIO cRIO-9012/9014

Connecting Serial Devices to the Controller

The controller has an RS-232 serial port to which you can connect devices such as displays or input devices. Use the Serial VIs to read from and write to the serial port. For more information about the Serial VIs, refer to the *LabVIEW Help*.

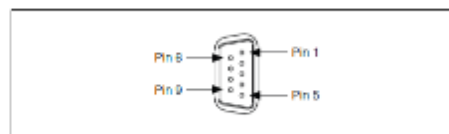


Figure 3. Controller Serial Port

Table 1. D0-9 Pin Descriptions

Pin	Signal
1	DCD
2	RXD
3	TXD
4	DTR
5	GND
6	DSR
7	RTS
8	CTS
9	RI

Resumen de Especificaciones Módulo NI 9870

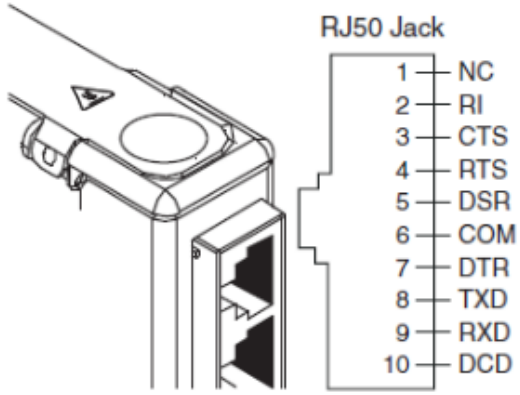
General	
Producto	NI 9870 4-port RS232 CompactRIO Serial Interface Module
Familia de Productos	Serial
Formato Físico	CompactRIO
Número de Parte	779891-02 , 779891-01
Sistema Operativo/Objetivo	FPGA
Soporte para LabVIEW RT	No
Voltaje	5 Vrms
Corriente	0.1 A
Fuente de Potencia	Se Requiere de Potencia Adicional
Tipo de Aislamiento	Aislamiento entre Bancos
Compatibilidad con Estándar Serial	RS-232
Información del Puerto	
Número de Puertos	4
Tamaño de Búfer FIFO de E/S	64 B
Máximas Conexiones de Dispositivos / Puerto	1
Especificaciones Físicas	

General	
Longitud	7.9 cm
Ancho	8.9 cm
Altura	2.2 cm
Conector de E/S	Jack modular de 10 posiciones
Temperatura de Operación	-40 °C
Temperatura de Operación	70 °C

Wiring the NI 9870

The NI 9870 has four RJ-50 receptacles that provide connections for four RS232 devices.

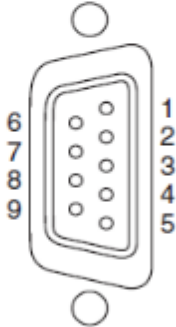
Table 1. RS232 Port Pinout

	RJ-50 Pin	Signal Name*
	1	No Connect
	2	RI
	3	CTS
	4	RTS
	5	DSR
	6	GND
	7	DTR
	8	TXD
	9	RXD
	10	DCD

* These signals are shared by all four RJ-50 connectors on the NI 9870.

The cables included with your kit convert the RJ-50 pinout to the standard NI pinout on a DB-9 male connector, as shown in Table 2.

Table 2. Pin Assignments for RS232 DB-9 Male Connector

Connector	Pin	Signal
	1	DCD
	2	RXD
	3	TXD
	4	DTR
	5	GND
	6	DSR
	7	RTS
	8	CTS
	9	RI

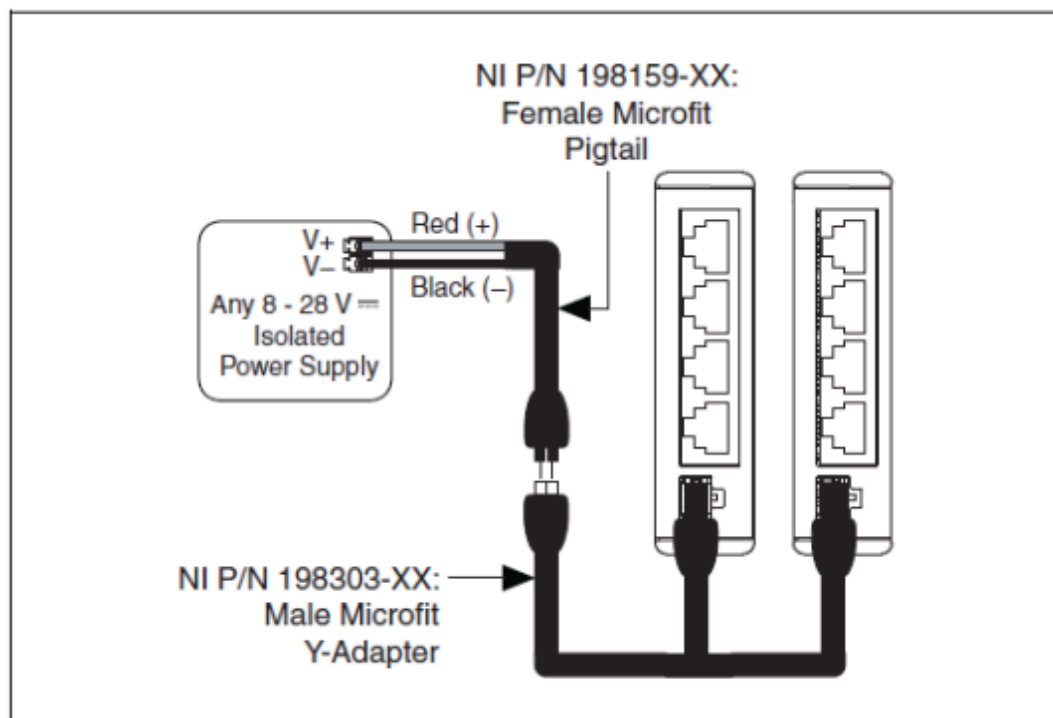


Figure 3. Powering Multiple Modules from a Single Power Supply

Resumen de Especificaciones NI 9505

General	
Producto	NI 9505
Familia de Productos	Control de Movimiento
Formato Físico	CompactRIO
Número de Parte	779126-01
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time
Soporte para LabVIEW RT	Sí
Conector de E/S	D-Sub de 9 pines (DB-9)
Hardware de Movimiento	Etapa de Potencia
Número de Ejes	1
Tipo de Motor/Eje	brushed servo
Drive	
Corriente Servo Pico	12 A
Rango de Voltaje de Salida	8 V - 30 V
Rango de Inductancia	500 μ H - 1000 mH
Habilidad de Control FPGA	Sí
Conectividad Directa	Sí
Interfaz de Cuadratura/Incremento	Conexión Directa

General	
Rango de Voltaje	0 V - 5.5 V
Máxima Frecuencia de Cuadratura	5 MHz
Especificaciones Físicas	
Longitud	6.9 cm
Ancho	2.3 cm
Altura	8.1 cm
Temperatura de Operación	-40 °C
Temperatura de Operación	70 °C

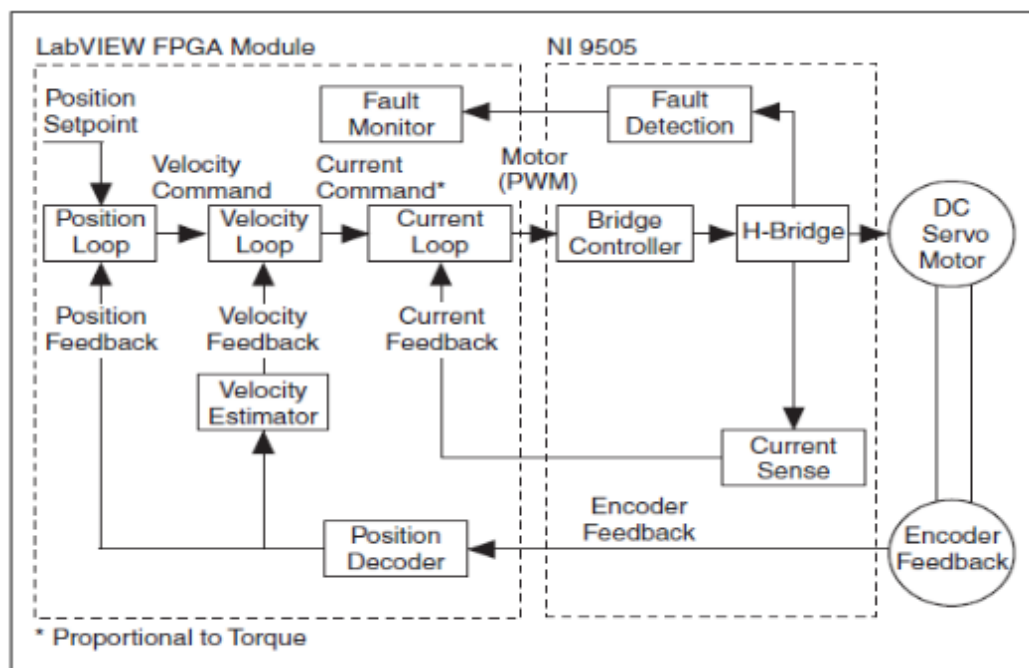


Figure 1. NI 9505 Block Diagram

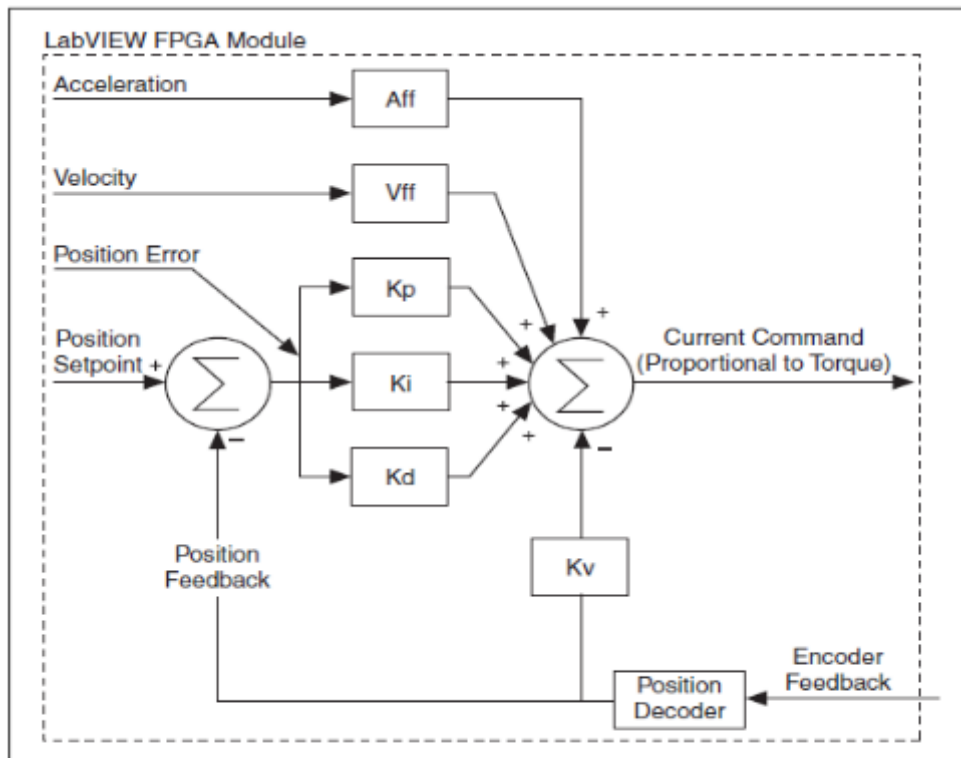
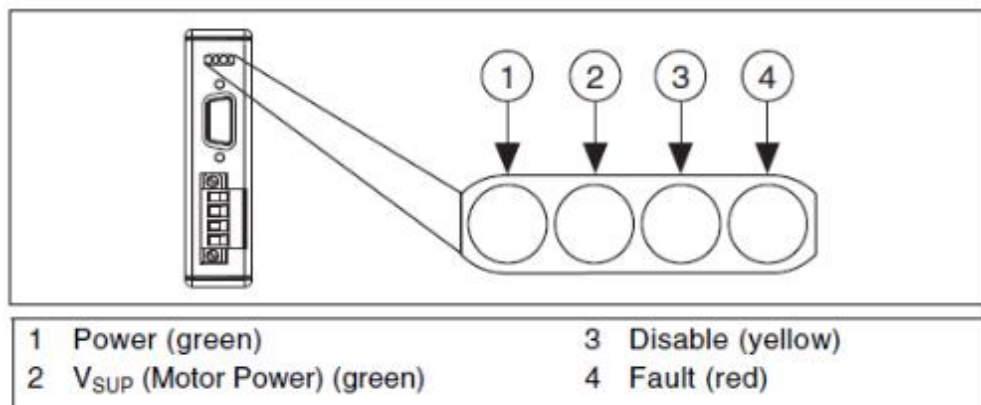


Figure 2. LabVIEW FPGA Module NI 9505 PID Loop

LED Indicators

The NI 9505 has four LEDs to display status information.



Power

The Power LED (green) illuminates when the NI 9505 is properly inserted into a powered chassis.



Note The Power LED does not illuminate when the chassis is in sleep mode.

Resumen de Especificaciones NI 9401

General	
Producto	NI 9401
Familia de Productos	E/S Industrial
Formato Físico	CompactDAQ , CompactRIO
Número de Parte	782401-01 , 779351-01
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time , Windows
Tipos de Medida	Digital
Tipo de Aislamiento	Aislamiento de Canal a Tierra
Compatibilidad con RoHS	Sí
Entrada Analógica	
Canales	0
Canales de una sola terminal	0
Canales Diferenciales	0
Salida Analógica	
Canales	0
E/S Digital	
Canales Bidireccionales	8
Canales de Entrada Únicamente	0

General	
Canales de Salida Únicamente	0
Temporización	Hardware
Máximo Rango de Tiempo	10 MHz
Niveles Lógicos	TTL
Entrada de Flujo de Corriente	programmableCurrent
Salida de Flujo de Corriente	programmableCurrent
¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?	Sí
¿Soporta E/S de Patrones?	Sí
Máximo Rango de Entrada	0 V - 5.25 V
Máximo Rango de Salida	0 V - 5.25 V
Contadores/Temporizadores	
Número de Contadores/Temporizadores	0
Especificaciones Físicas	
Longitud	9 cm
Ancho	2.3 cm
Conector de E/S	D-Sub de 25 pines
Temperatura de Operación	-40 °C
Temperatura de Operación	70 °C

General

Temperatura de Almacenamiento -40 °C

Temperatura de Almacenamiento 85 °C

Temporización/Disparo/Sincronización

Disparo Digital

Dispara Chasis cDAQ Sí

Connecting the NI 9401

The NI 9401 has a 25-pin DSUB connector that provides connections for eight digital input/output channels.

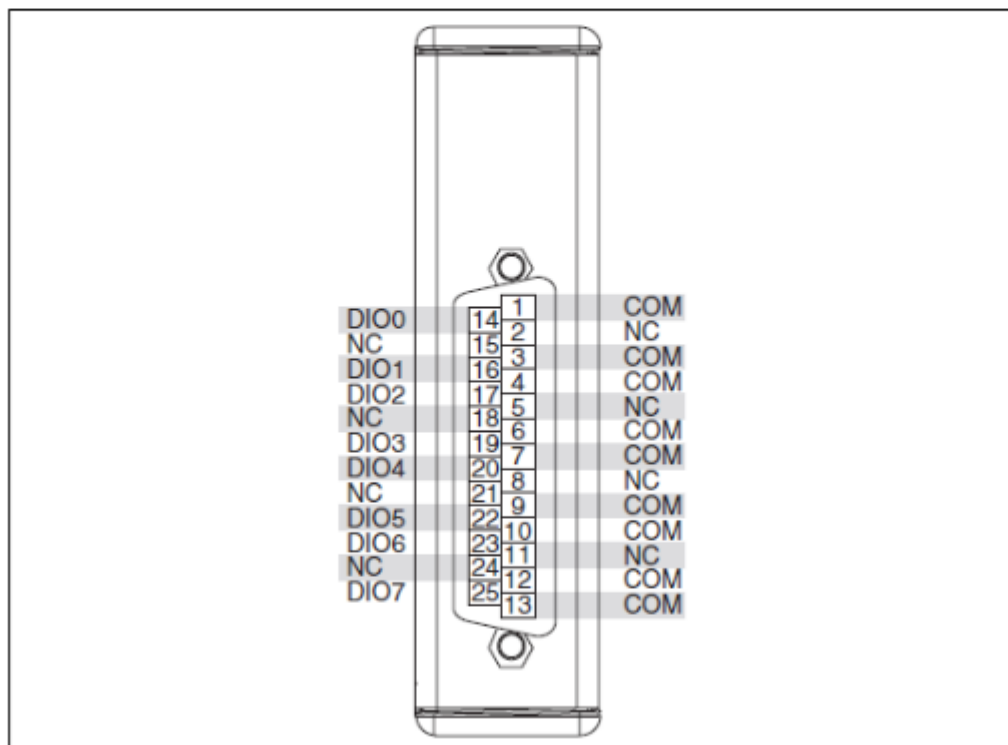


Figure 1. NI 9401 Pin Assignments

Figure 3 illustrates how to connect several types of digital devices to the NI 9401.

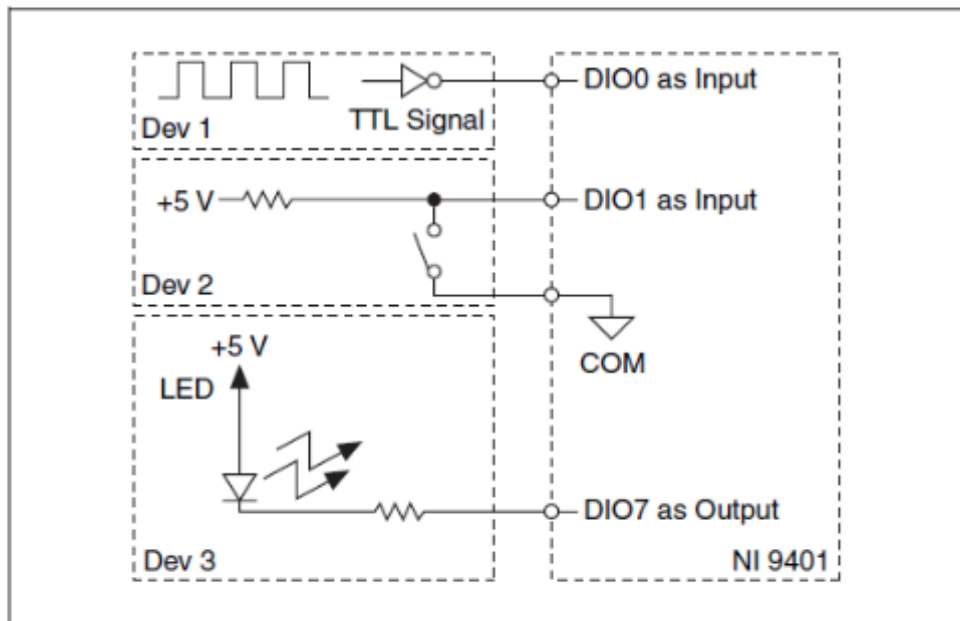


Figure 3. Connecting Digital Devices to the NI 9401

Resumen de Especificaciones NI P70530

General	
Producto	P70530-SDN
Familia de Productos	Control de Movimiento
Número de Parte	780097-01
Sistema Operativo/Objetivo	Cualquiera
Soporte para LabVIEW RT	Sí
Hardware de Movimiento	Etapa de Potencia
Número de Ejes	1
Tipo de Motor/Eje	pasos
Drive	
Rango de Voltaje de Salida	20 V - 75 V
Rango de Inductancia	2 mH - 15 mH
Habilidad de Control FPGA	No
Micropasos	Sí
Rango Máximo de Micropasos	250
Detección de Bloqueo sin Codificador	Sí
Conectividad Directa	Sí
Filtrado Antiresonancia	Sí

General

Interfaz de Cuadratura/Incremento	A través de UMI
Rango de Voltaje	0 V - 5.5 V
Máxima Frecuencia de Cuadratura	2 MHz

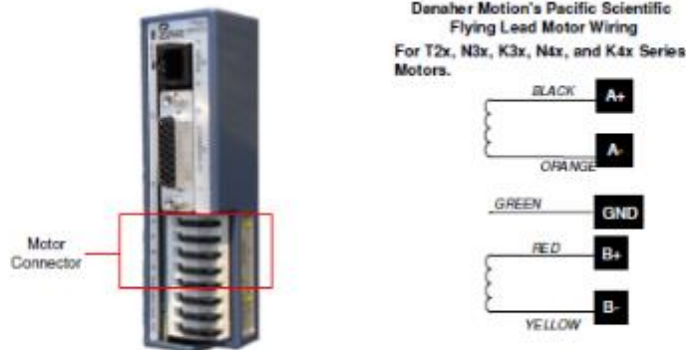
Especificaciones Físicas

Longitud	11.1 cm
Ancho	10.7 cm
Altura	2.9 cm
Temperatura de Operación	0 °C
Temperatura de Operación	45 °C

2.2 FUNCTIONS BY CONNECTOR

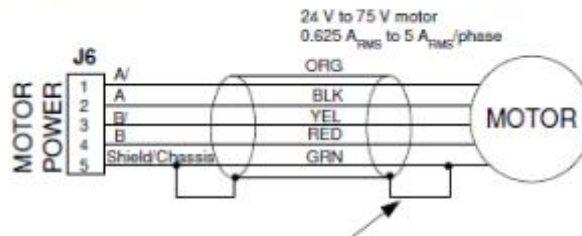
2.2.1.1. Connecting A Motor

Danaher Motion offers a number of standard stepper motors designed to provide optimum performance when matched with the P70530. The motors are offered with a 4-flying lead configuration. If your motor has 6 or 8 leads, you should consult your distributor or the factory for assistance.



Do not hot-plug the motor connector.
Avoid "whiskers" from stranded phase leads protruding from the motor plug.

2.2.4 J6 MOTOR



To avoid electrical shock, motor ground must be connected to protective earth.

Typical Pacific Scientific stepper wire color code:

A-	Orange	Motor Phase A
A+	Black	(twisted pair)
B-	Yellow	Motor Phase B
B+	Red	(twisted pair)
PE	Green/Yellow Stripe	Cable Shield/Motor Case (J6-5 connects to J7-3 inside drive)

To reverse direction of motor rotation:

Switch A- with A

OR

Switch B- with B

OR

Switch A-, A with B-, B

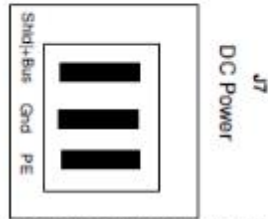
OR

Switch rotation polarity in the user interface



NOTE

2.2.5 J7 DC POWER



(Connector view from front of drive)

Pin	Description	
J7-1	Plus power supply terminal	20 V – 75 V 5 A av max isolated, unregulated (or regulated) power supply
J7-2	Negative power supply terminal/ Bus Gnd is normally earthed Maximum allowable voltage between Bus Gnd (J7-2) and Chassis (J7-3) is 100 V peak.	
J7-3	Connect to PE (Protective Earth) (J7-3) connects to J6-5 inside drive	



NOTE

Danaher Motion recommends the use of insulated wire ferrels to prevent shorting and add strain relief.

4.1 INSTALLING P7000TOOLS

When you install P7000Tools, the Installation Wizard will check to see if you have a previous version of P7000Tools on your system. If found, it will uninstall it. After this, you will need to run the installation again to install the new version on your system.

If you do not have a previous version of P7000Tools on your system, you only need to run the installation once.

4.2 SET-UP WIZARD

Start **P7000Tools**. Follow the **Setup Wizard**. You will go through a series of screens to set up the motor, drive I/O, command structure and mechanical configuration.

When you successfully finish this set up, the front panel **LED** indicator is **Solid Green**. The motor has holding torque.



4.4 **PRODUCT SELECTION**



- Select either P70360 AC or P70530 DC unit.
- Add New Drive
Add additional units.
- Enter a Name for this configuration
This is the name for the unit or axis.

4.5 **CONFIGURATION AND UNIT ADDRESS**



Tooth Count Number of magnetic poles on the stator.

Peak Torque Peak torque capability of the motor.

Rotor Inertia Rotor inertia of the motor.

Probe Stepper Motor

When a new motor is selected, you are prompted to allow a PROBE. This is similar to what an inductance meter does to measure inductance. The P7000 uses a more powerful test signal, which makes an audible tone in the motor. The probe action takes 10 to 20 seconds, during which time, the drive is gathering information needed to operate state observers. It may be desirable to manually start a probe using the PROBE STEPPER MOTOR button. This would be done if a motor were replaced by a unit of the same type.

4.5.3.1. Motor File Editor

Motor List List box that contains all of the motor file configurations available in the database on this PC. Select a motor from this list to edit or select NEW to configure a new motor.

This screen is where you will enter custom motor parameters. The steps to define a custom motor are:

Properties:



The Properties box must be populated with values from a motor data sheet. All other values are calculated by the GUI software.

NOTE

- Motor Name** Enter an appropriate motor name.
- Motor Current:** Continuous current rating of the motor (A_{CMS}). A_{PEAK} is automatically calculated by the GUI software.
- Tooth Count** Total number of magnetic poles on the motor stator. The default is 50.

ANEXO E

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS
ELEMENTOS Y MATERIALES DE LA
CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DEL
APUNTADOR DE ANTENAS**

Color de Identificación:
Negro XXXXXXXXXX

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES

AFNOR (Fr)	XC 10
BS (Ingl)	040X10
DIN (Alem)	10301
JIS (Jap)	S10C
UNI (Ital)	C10
Grado Thyssen	XC 10

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C 0.08 - 0.13	S 0.04 (Máx)	P 0.04 (Max)	Si 0.15 - 0.35	Mn 0.30 - 0.60
CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr —	Ni —	Mo —	V —	W —

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Acero Estructural de bajo Carbono
- Alta ductilidad
- Excelente Soldabilidad

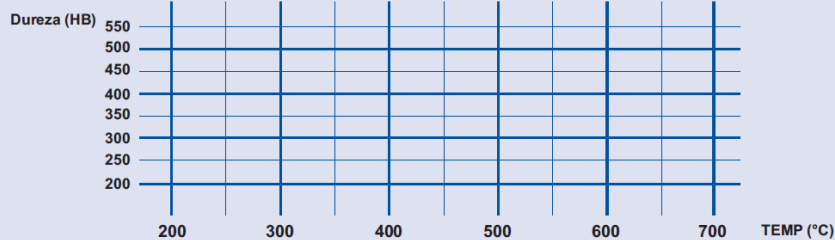
APLICACIONES

- Acero de gran aplicación como Acero Estructural en la fabricación de tuberías estructuras metálicas soldadas, etc.
- Se aplica también como Acero de Construcción de maquinarias cuando está endurecido superficialmente mediante tratamientos de cementación o Carbonitrurado seguido de Temple y Revenido.
- También se aplica en estado cementado o Carbonitrurado como Acero de Construcción de Máquinas.

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL

TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	910 -- 930	AIRE		160(Max)
RECOCIDO	890 – 910	HORNO		150 (Max)
TEMPLE	PERIFERIA 800-830 NUCLEO 840-870	AGUA	64 (Max)	207 (Max)
REVENIDO	150 – 230		55-60	
CEMENTACIÓN	910 -- 930	GASES, SALES	OBSERVACIONES También se suele templear directamente desde la temperatura de cementación	

CURVA DE REVENIDO



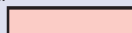
ESTADO DE ENTREGA

www.sumindu.com

Natural, Calibrado

Color de Identificación:

Rosado



ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES

AFNOR (Fr)	XC 18
BS (Ingl)	O80M15
DIN (Alem)	10401
JIS (Jap)	S18C
UNI (Ital)	C18
Grado Thyssen	XC 18 (similar)

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C 0.15 - 0.20	S 0.04 (Máx)	P 0.04 (Max)	Si 0.15 - 0.35	Mn 0.60 - 0.90
CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr —	Ni —	Mo —	V —	W —

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Acero Estructural de bajo Carbono
- Buena ductilidad
- Excelente Soldabilidad
- Sus niveles de Manganeso incrementan ligeramente su resistencia mecánica.

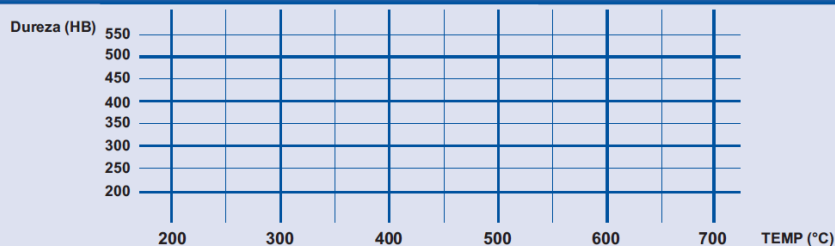
APLICACIONES

- Se aplica tanto como acero Estructural como Acero de construcción para elementos de Maquinarias, especialmente cuando está endurecido superficialmente mediante tratamientos de cementación, temple y revenido.
- En general sus aplicaciones son similares a las del Acero AISI 1020.
- También se aplica como Acero de Construcción de piezas para maquinarias

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL

TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	910 -- 930	AIRE		180(Max)
RECOCIDO	860 -- 880	HORNO		170 (Max)
TEMPLE	PERIFERIA NUCLEO 800-830 840-870	AGUA	64 (Max)	255 (Max)
REVENIDO	150 -- 230		55-60	
CEMENTACIÓN	890 -- 930	GASES, SALES	OBSERVACIONES También se suele templear directamente desde la temperatura de cementación	

CURVA DE REVENIDO



ESTADO DE ENTREGA

ww.sumindu.com

Natural, Calibrado



CALIDAD
AISI 8620

ACERO PARA
MAQUINARIAS

Color de Identificación:

Mandarina

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES

AFNOR (Fr)	20NCD2
BS (Ingl)	805 H20
DIN (Alem)	16523
JIS (Jap)	SNM220 (H)
UNI (Ital)	20NiCrMo2
Grado Thyssen	20NCD2

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C	S	P	Si	Mn
0.18 - 0.23	0.04 (Máx)	0.04 (Max)	0.15 - 0.35	0.70 - 0.90
CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr	Ni	Mo	V	W
0.40 - 0.60	0.40 - 0.70	0.15 - 0.25	—	—

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Acero de bajo carbono al Cromo-Niquel-Molibdeno ampliamente utilizado como acero de cementación y también, en algunos casos, en estado bonificado (temple y revenido) sin cementar.
- Relativa alta templabilidad.
- Buena soldabilidad
- Buena Maquinabilidad

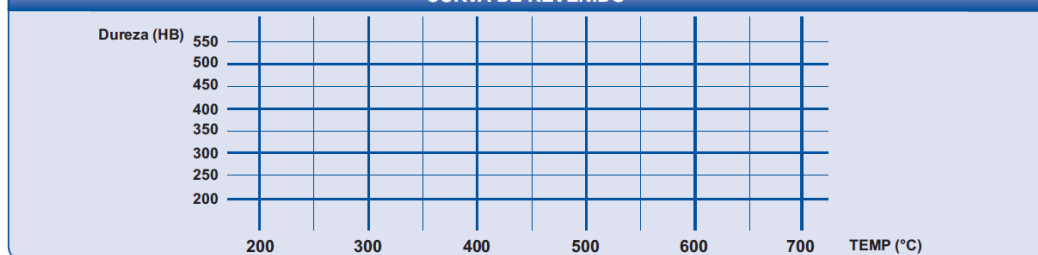
APLICACIONES

- Se aplica ampliamente en elementos de maquinarias que requieran alta resistencia al desgaste y excelente tenacidad en el núcleo.
- Engranajes, cigüeñales, piñones, ruedas dentadas, arboles de transmisión, pernos, tuercas, ejes de leva, cremalleras, etc.

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL

TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	900 – 930	AIRE		207(Max)
RECOCIDO	850 – 880	HORNO		197 (Max)
TEMPLE	PERIFERIA 800-830 NUCLEO 830-860	ACEITE, SALES	64 (Max)	340 (Max)
REVENIDO	150 – 230		59-62 (Superf.)	
CEMENTACIÓN	890 – 930	GASES, SALES	OBSERVACIONES También se suele templear directamente desde la temperatura de cementación.	

CURVA DE REVENIDO



ESTADO DE ENTREGA

www.sumindu.com

Recocido, Durezas (Ver Certificado de Calidad)
Laminado o forjado según medidas

Color de Identificación:

Morado 

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES

AFNOR (Fr)	Z 7CN 18-09
BS (Ingl)	304 S31
DIN (Alem)	14301
JIS (Jap)	SUS 304
UNI (Ital)	X5CrNi 18-10
Grado Thyssen	Remanit 4301

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C < 0.08	S 0.03 (Máx)	P 0.05 (Max)	Si ≤ 1.00	Mn ≤ 2.00
CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr 18.00 - 20.00	Ni 8.00 - 10.50	Mo —	V —	W —

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Acero Inoxidable Austenítico aleado al Cromo-Niquel.
- Resiste altas temperaturas.
- Alta resistencia a la corrosión.
- No magnético en estado recocido. Ligeramente magnético cuando esta trabajado en frío.
- Alta ductilidad y baja dureza en estado recocido.
- Capacidad de endurecerse mediante deformación en frío.
- Se utiliza como acero estructural y también como de construcción en piezas poco exigidas mecánicamente.

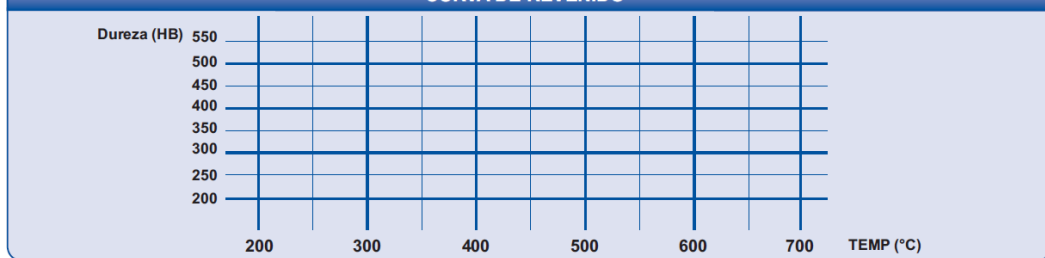
APLICACIONES

- Partes y piezas en la industria alimenticia, química y refinerías.
- Equipos Hospitalarios.
- Aplicaciones Navales.
- Electrodomésticos.
- Aplicaciones criogénicas (bajas temperaturas).

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL

TRATAMIENTO	TEMPERATURA ° C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	NO NORMALIZAR			
RECOCIDO	1040 - 1120	AGUA		160 (Max)
TEMPLE				
REVENIDO				
CEMENTACIÓN				

CURVA DE REVENIDO



ESTADO DE ENTREGA

www.sumindu.com

Recocido, Dureza (Ver Certificado de Calidad)
Calibrado, Pulido, Torneado o Premaquinado, Laminado o Forjados según medidas

Color de Identificación:

Morado / Negro



ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES

AFNOR (Fr)	Z 7CND 17.11.02
BS (Ingl)	316 S31
DIN (Alem)	14401
JIS (Jap)	SUS 316
UNI (Ital)	X5CrNiMo 17-12
Grado Thyssen	Remanit 4401

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C	S	P	Si	Mn
≤ 0.08	0.03 (Máx)	0.05 (Max)	≤ 1.00	≤ 2.00
CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr	Ni	Mo	V	W
16.00 - 18.00	10.00 - 14.00	2.00 - 3.00	—	—

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Acero Inoxidable Austenítico aleado al Cromo-Niquel-Molibdeno.
- Alta resistencia a la corrosión aun superior a la del acero AISI 304.
- No magnético en estado recocido.
- Alta ductilidad y baja dureza en estado Recocido.
- Capacidad de endurecerse mediante deformación en frío.
- Resistente a altas temperaturas.
- Se utiliza como acero estructural y también como de construcción en algunos casos, de piezas poco exigidas mecánicamente.

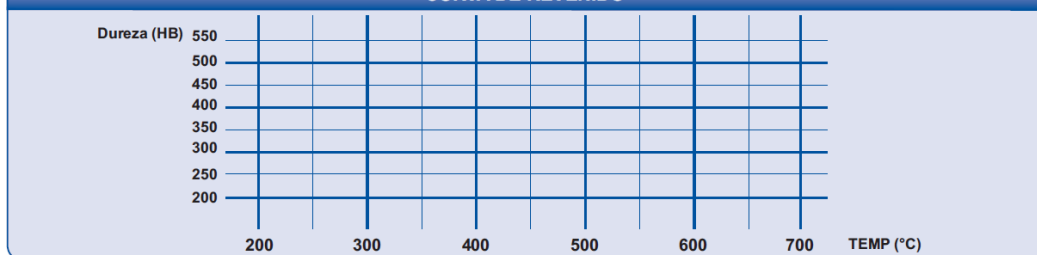
APLICACIONES

- Partes y piezas en la industria alimenticia, química y refinerías.
- Equipos Hospitalarios Quirúrgicos.
- Gran resistencia a la acción corrosiva de reactivos químicos, en especial al ácido sulfúrico.
- Aplicaciones a baja temperatura.

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL

TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	No Normalizar			
RECOCIDO	1040 - 1120	AGUA		180 (Max)
TEMPLE				
REVENIDO				
CEMENTACIÓN				

CURVA DE REVENIDO



ESTADO DE ENTREGA

www.sumindu.com

Recocido, Dureza (Ver Certificado de Calidad)
Calibrado, Pulido, Torneado o Premaquinado, Laminado o Forjados según medidas

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS APROXIMADAS

ASTM	A 36
BS (Ingl)	NO APLICA
DIN (Alem)	NO APLICA
JIS (Jap)	NO APLICA
UNI (Ital)	NO APLICA

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	MANGANESO	CROMO
C 0.10 - 0.26	S 0.05 (Max)	P 0.04 (Max)	Mn 0.80 - 1.20	Cr 0.20 (Max)
SILICIO				
Si 0.15 - 0.30				

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Esta especificación cubre láminas al carbono de calidad estructural.

APLICACIONES

- Estas láminas pueden ser utilizadas para ser soldadas, remachadas o atornilladas en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

PROPIEDADES MECÁNICAS

ESFUERZO MÁXIMO MPA	LIMITE DE FLUENCIA MPA	ELONGACION EN 50 mm.	ELONGACION EN 200 mm.
400 - 550	250	23%	20%
DUREZA ROCKWELL B	DUREZA BRINNEL 500Kg	ALARGAMIENTO	FRACTURA ESFUERZO

ESTADO DE ENTREGA

www.sumindu.com

ANEXO F

**MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL
APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE
ANTENAS**



ELEMENTO <i>Apuntador Electromecánico de Antenas</i>	Nº	Realizado Por W. Guamán G. León	Fecha 10/04/2013	Hoja 1
COMPONENTE Estructura Inferior	Ref 1	Revisado Por	Fecha 10/04/2013	De 5

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando hay falla)
1	Girar en azimut la antena Teko Telecom.	A No gira en azimut la estructura superior, montada en la estructura inferior.	<p>1 Falla eléctrica, no existe alimentación de energía eléctrica al sistema.</p> <p>2 Falla en la comunicación PC – Compact RIO/ Compact RIO – Micro controlador/ Micro controlador – Tarjeta P70530</p> <p>3 Los rodamientos del árbol de transmisión están trabados.</p>	<p>La estructura superior no gira y por ende la antena, el motor a pasos no recibe energía eléctrica y no funciona, No se encienden los módulos de control electrónico. Toma 5 minutos revisar el sistema de alimentación de energía.</p> <p>El sistema está encendido pero no gira la antena, existe un problema de comunicación entre los módulos de control electrónico. Toma 10 minutos revisar las interfaces de comunicación del sistema.</p> <p>La antena no gira en azimut o lo hace demasiado lento, el motor a pasos se calienta, el sistema hace ruido por la fricción producida por los rodamientos, se puede quemar el motor a pasos. Toma 3 horas realizar el cambio de rodamientos.</p>

	<p>2 Calibrar la posición en azimut de la antena Teko Telecom a 0° con el INS</p>	<p>A No se calibra la posición en azimut a 0° con respecto al norte magnético.</p>	<p>4 El sistema de transmisión cono corona está bloqueado o trabado.</p> <p>1 El INS está desconectado y por lo tanto el LCD no marca la posición en azimut de calibración.</p> <p>2 EL LCD está desconectado y no se visualiza la posición en azimut u otras.</p> <p>3 La comunicación entre el INS y el micro controlador / micro controlador – LCD está fallando.</p>	<p>La antena no gira en azimut, el motor a pasos se calienta, el sistema hace ruido por la fricción producida por el cono y la corona, se puede quemar el motor a pasos. Toma 15 minutos verificar el sistema de transmisión y 2 días reemplazarlo.</p> <p>No se visualiza en el LCD la posición en azimut en tiempo real de la antena TEKO TELECOM que transmite el sensor de posición inercial (INS), y no se la puede calibrar en cero grados. Toma 15 min verificar la conexión del INS.</p> <p>No se visualiza nada en el LCD, aparece apagado y no permite calibrar el apuntador a cero grados. Toma 20 minutos verificar las conexiones del LCD.</p> <p>El LCD se enciende pero no aparecen datos, el INS también está funcionando, existen problemas en la comunicación y se debe encontrar el problema, toma 30 minutos revisar las conexiones.</p>
--	--	---	--	--



ELEMENTO <i>Apuntador Electromecánico de Antenas</i>	Nº	Realizado Por W. Guamán G. León	Fecha 10/04/2013	Hoja 3
COMPONENTE Estructura Superior	Ref 1	Revisado Por	Fecha 10/04/2013	De 5

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando hay falla)
1	Desplazarse en elevación (0 a 90°) la antena Teko Telecom.	A No se eleva la antena Teko Telecom, montada en la estructura superior.	<p>1 Falla eléctrica, no existe alimentación de energía eléctrica al sistema.</p> <p>2 Falla en la comunicación PC – Compact RIO/ Compact RIO – módulo PWM / Módulo PWM – potenciómetro multivoltajes del actuador lineal.</p> <p>3 Émbolo del actuador lineal eléctrico trabado.</p>	<p>La antena no se eleva, actuador lineal eléctrico no recibe energía eléctrica y no funciona, No se encienden los módulos de control electrónico. Toma 5 minutos revisar el sistema de alimentación de energía.</p> <p>El sistema está encendido pero la antena no realiza el movimiento en elevación, existe un problema de comunicación entre los módulos de control electrónico. Toma 10 minutos revisar las interfaces de comunicación del sistema.</p> <p>La antena no se eleva o lo hace demasiado lento, el actuador se calienta, el sistema hace ruido por la fricción producida, se puede quemar el actuador. Toma 30 minutos verificar el estado del actuador.</p>

			4 Los rodamientos de los pivotes móviles están trabados.	La antena no se eleva o lo hace demasiado lento, el actuador se calienta, el sistema hace ruido por la fricción entre los rodamientos y los pasadores, se puede quemar el actuador. Toma 15 minutos verificar el estado de los rodamientos y otros 15 minutos cambiarlos si se tiene el repuesto.
--	--	--	---	---



ELEMENTO <i>Apuntador Electromecánico de Antenas</i>	Nº	Realizado Por W. Guamán G. León	Fecha 10/04/2013	Hoja 5
COMPONENTE Estructura de Soporte y desplazamiento	Ref 1	Revisado Por	Fecha 10/04/2013	De 5

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando hay falla)	
1	Desplazarse de forma manual.	A	No se desplaza el apuntador electromecánico de antenas.	1	Las ruedas mecánicas están trabadas, no giran y no se puede trasladar el apuntador.	La estructura no mueve, o se desplaza con mucha dificultad, las ruedas se encuentran trabadas quizá por el terreno irregular o algún elemento se incrustó en las ruedas. Toma 15 minutos revisar las ruedas mecánicas y 2 horas reemplazarlas si se tiene los repuestos	
2	Nivelar la estructura del apuntador electromecánico de antenas.	A	No nivela la estructura del apuntador electromecánico de antenas.	1	EL terreno es demasiado irregular e impide que la estructura se nivele.	No se nivela la estructura y en funcionamiento podría virarse y dañar los sistemas de la antena, es necesario nivelar el terreno manualmente, toma 15 minutos hacerlo.	
				2	Los niveladores mecánicos están trabados.	No se mueven los niveladores mecánicos de la estructura, están atorados o trabados por suciedad o impurezas en la rosca, el sistema no se nivela y se puede virar. Se debe limpiar y engrasar el sistema, toma 20 minutos hacerlo, en caso de reemplazo toma 1 hora si se tiene el repuesto.	



ELEMENTO APUNTADOR ELECTROMACÁNICO DE ANTENAS	Nº	Realizado Por W. Guamán G. León	Fecha 25/01/2012	Hoja 1
COMPONENTE ESTRUCTURA INFERIOR	Ref 1	Revisado Por	Fecha 25/01/2012	De 4

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O 1 N1	H2 S2 O 2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	H 4	H 5	S4						
1	A	1	S	N	N	S	S						Verificar estado de arneses, conectores y todo tipo de elementos que se conecten a las fuentes de energía eléctrica.	Cada mes	Personal de mtto. Eléctrico.
1	A	2	S	N	N	S	S						Verificar estado de las interfaces de comunicación utilizadas (RS232 por ejemplo) y limpieza de los pines.	Cada mes	Personal de mtto eléctrico.
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Monitoreo de rodamientos, detectar ruidos, vibraciones y desgaste.	Cada dos meses	Personal de mtto. Mecánico.
1	A	4	S	N	N	S	N	N	S				Monitoreo del sistema de transmisión de movimiento cono corona, detectar ruidos, vibración o desgaste	Cada dos meses	Personal de mtto. Mecánico

2	A	1	S	N	N	S	S							Probar el funcionamiento del INS, para comprobar que esté dando correctamente los datos de posición en azimut y elevación.	Cada 6 semanas	Personal de mtto. Electrónico.
2	A	2	S	N	N	S	S							Verificar que los datos que recibe el LCD corresponden a los ingresados en el HMI y verificar circuitería	Cada 6 semanas	Personal de mtto. Electrónico.
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N					Verificar la circuitería del micro controlador y la comunicación entre los módulos NI.	Cada 6 semanas	Personal de mtto. Electrónico.



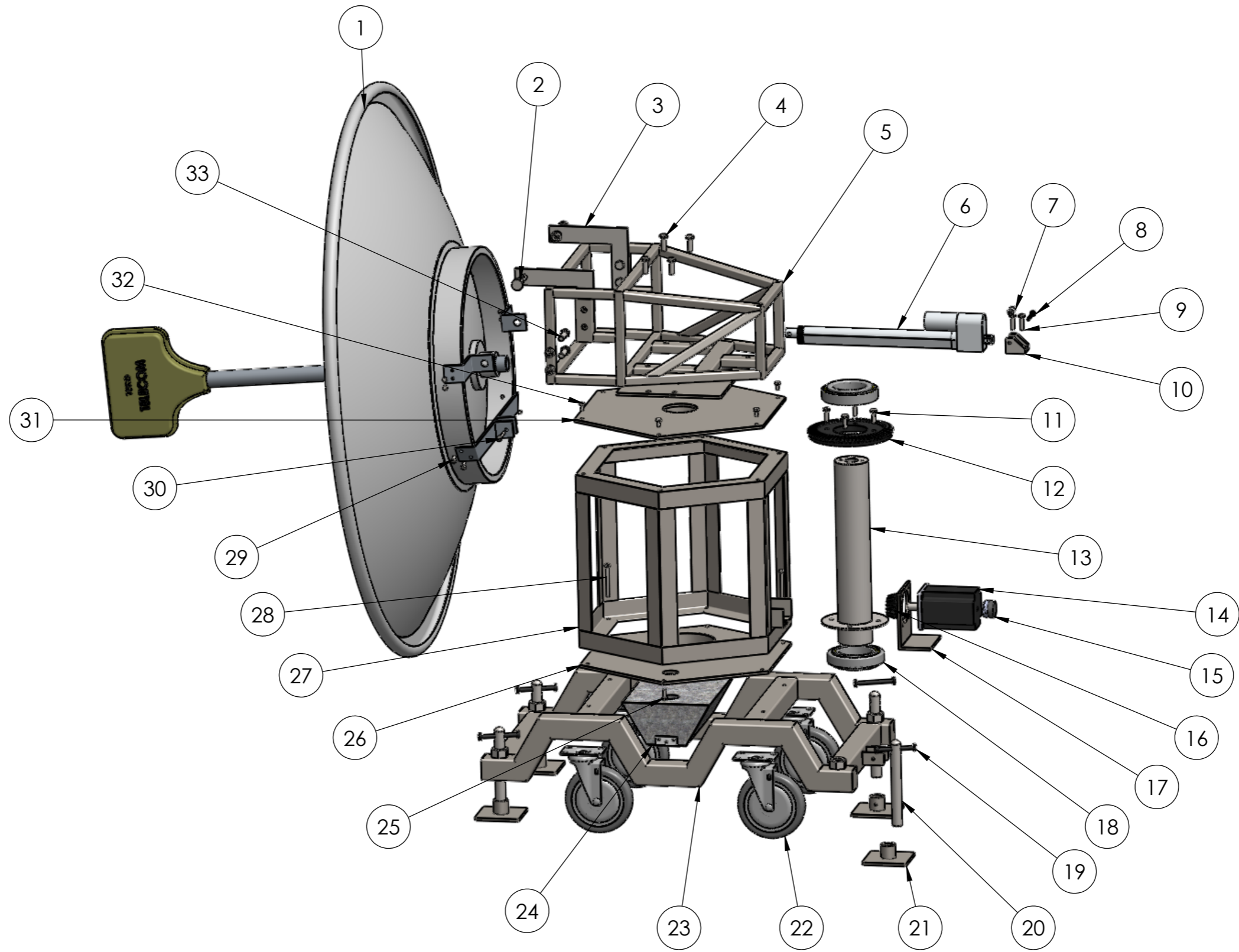
ELEMENTO APUNTADOR ELECTROMACÁNICO DE ANTENAS	Nº	Realizado Por W. Guamán G. León	Fecha 25/01/2012	Hoja 3
COMPONENTE ESTRUCTURA SUPERIOR	Ref 1	Revisado Por	Fecha 25/01/2012	De 4

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O 1 N 1	H2 S2 O 2 N 2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	H 4	H 5	S4						
1	A	1	S	N	N	S	S						Verificar estado de arneses, conectores y todo tipo de elementos que se conecten a las fuentes de energía eléctrica.	Cada mes	Personal de mttto. Eléctrico.
1	A	2	S	N	N	S	S						Verificar estado de las interfaces de comunicación utilizadas (RS232 por ejemplo) y limpieza de los pines.	Cada mes	Personal de mttto eléctrico.
1	A	3	S	N	N	N	N	N	S				Monitoreo del embolo, detectar ruidos, vibraciones y desgaste.	Cada dos meses	Personal de mttto. Mecánico.
1	A	4	S	N	N	S	N	N	S				Monitoreo de rodamientos de los pivotes, detectar ruidos, vibraciones y desgaste.	Cada dos meses	Personal de mttto. Mecánico



ELEMENTO APUNTADOR ELECTROMACÁNICO DE ANTENAS	Nº	Realizado Por W. Guamán G. León	Fecha 25/01/2012	Hoja 4
COMPONENTE ESTRUCTURA SUPERIOR	Ref 1	Revisado Por	Fecha 25/01/2012	De 4

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O 1 N 1	H2 S2 O 2 N 2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	H 4	H 5	S4						
1	A	1	S	N	N	S	S						Verificar estado de ruedas mecánicas, limpiar impurezas, engrasar los rodamientos.	Cada mes	Personal de mto. Mecánico.
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento, se debe instruir al personal sobre nivelar correctamente el apuntador.	Cada mes	Personal de mto eléctrico.
2	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Verificar el estado de los niveladores mecánicos, desgaste de la rosca, limpiar impurezas, engrasar perno.	Cada dos meses	Personal de mto. Mecánico.



				Tolerancia: ±0,1mm	Peso 80.18 Kg	VARIOS	
				Fecha	Nombre	MONTAJE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS	Escala: 1:10
				Dib: 18/05/2013	León - Guamán		
				Rev: 18/05/2013	Ing. Manjarrés F.		
				Apro: 18/05/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		HOJA 1 DE 3	
Edic- ción	Modificación	Fecha	Nombre				

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F

1

2

3

4

A	1	2	3	4
B				

No. de orden	No. de piezas	Denominación	No. de norma o dibujo	Observaciones
1	1	ANTENA TEKO TELECOM	TEKO/P008L/1.7GHZ	ALUMINIO ANODIZADO
2	2	PASADOR DE LA ANTENA	EAA-021	AISI 316
3	2	SOPORTE SUPERIOR ANTENA	EAA-004	AISI 316
4	4	PERNO HEXAGONAL	M10 x 1.5 x 30	UNE S30400
5	1	ESTRUCTURA SUPERIOR MOVIL	EAA-005	ASTM A 36
6	1	ACTUADOR LINEAL	IEI/LACT-12P	-
7	2	RODAMIENTO DE BOLAS 6mm	SKF	-
8	1	PASADOR DEL ACTUADOR LINEAL	EAA-006	ASTM A 36
9	2	PERNO HEXAGONAL	M8 x 1.25 x 30	UNE S30400
10	1	SOPORTE DEL ACTUADOR LINEAL	EAA-007	ASTM A 36
11	4	PERNO HEXAGONAL	M8 x 1.25 x 25	UNE S30400
12	1	ENGRANE CÓNICO 1	MOD4/N=64	AISI 8620
13	1	ARBOL PRINCIPAL	EAA-019	AISI 316
14	1	MOTOR PAP	LIN ENGINEERING 8718L-02S	-
15	1	ENCODER	NI 780251-01	-

				Tolerancia: ±0,1mm	Peso	VARIOS		
					Fecha	Nombre	Escala:	
				Dib:	18/05/2013	León - Guamán	LISTADO DE MATERIALES 1:20	
				Rev:	18/05/2013	Ing. Manjarrés F.		
				Apro:	18/05/2013	Ing. Manjarrés F.		
				ESPE Ing. Electromecánica		HOJA 2 DE 3		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

		1	2	3	4
A					
B					
	No. de orden	No. de piezas	Denominación	No. de norma o dibujo	Observaciones
C	16	1	ENGRANE CÓNICO 2	MOD4/N=16	AISI 8620
	17	1	SOPORTE MOTOR PAP	EAA-014	ASTM A 36
	18	2	RODAMIENTO CÓNICO 3in	SKF 42687/42620	-
	19	4	PALANCA DE TORNILLO DE POTENCIA	EAA-011	ASTM A 36
	20	4	TORNILLO	EAA-012	AISI 1018
	21	4	BASE PLACA NIVELADORA	EAA-013	ASTM A 36
	22	4	GARRUCHA TRAFICO PESADO	IMSA SERIE 45/6IN	-
	23	1	CHASIS	EAA-018	ASTM A 36
	24	1	CAJA INFERIOR	EAA-015	ASTM A 653
	D	25	2	PERNO HEXAGONAL	W1/4x20x0.75
26		1	CUBIERTA INFERIOR	EAA-016	AISI 1010
27		1	ESTRUCTURA INFERIOR FIJA	EAA-010	ASTM A 36
28		4	PERNO HEXAGONAL	W1/4x20x2.75	UNE S30400
29		8	PERNO HEXAGONAL	M6 x1 x12	UNE S30400
30		1	PASADOR DEL PISTÓN	EAA-020	AISI 316
E	31	1	CUBIERTA SUPERIOR	EAA-009	AISI 1010
	32	6	PERNO HEXAGONAL	W1/4x20x0.5	UNE S30400
	33	4	PERNO HEXAGONAL	M12x1.75x 40	UNE S30400

				Tolerancia: ±0,1mm	Peso	VARIOS	
						LISTADO DE MATERIALES	Escala: 1:20
				Dib:	18/05/2013		León - Guamán
				Rev:	18/05/2013		Ing. Manjarrés F.
				Apro:	18/05/2013		Ing. Manjarrés F.
				ESPE Ing. Electromecánica		HOJA 3 DE 3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

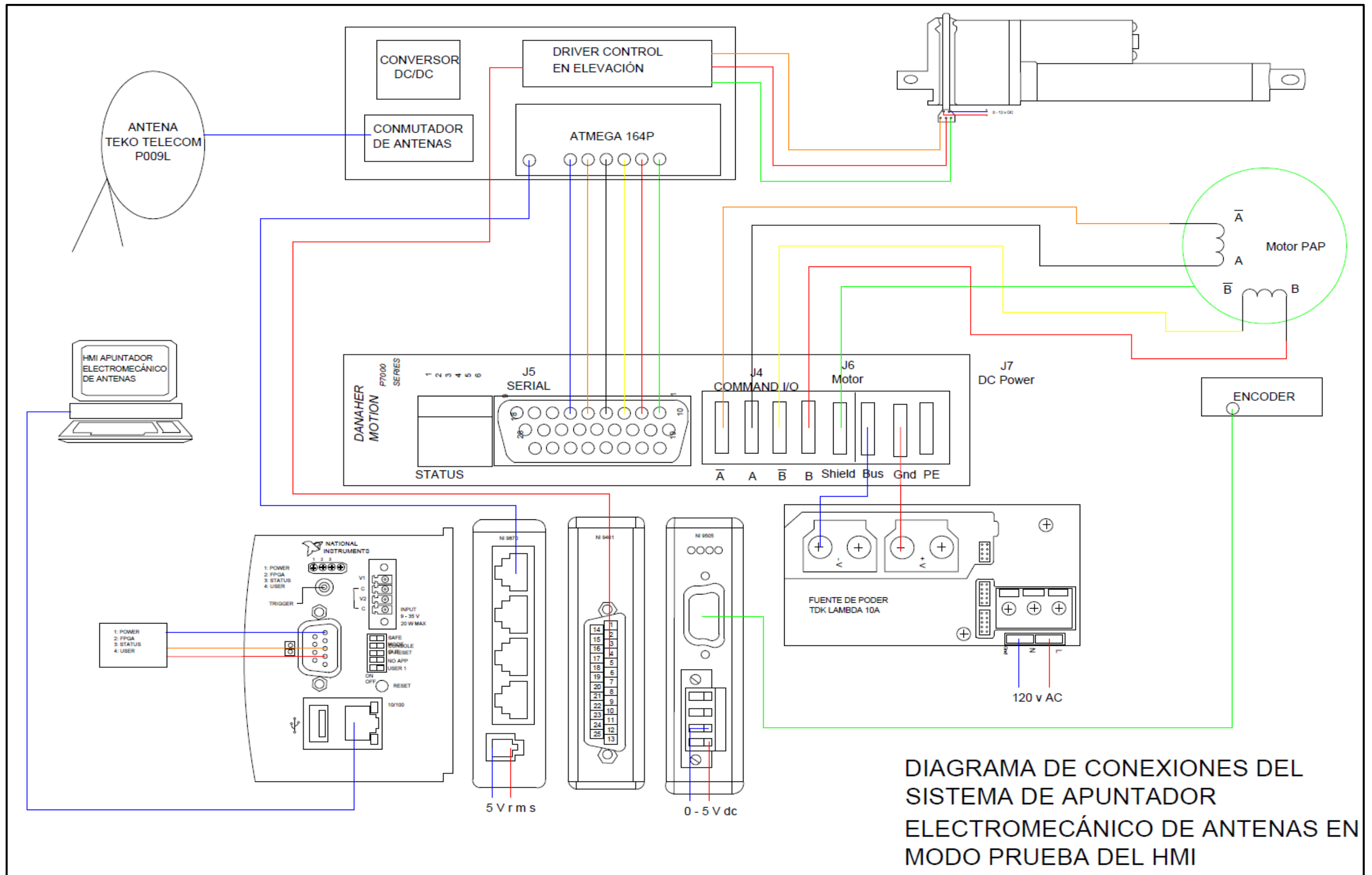


DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE APUNTAADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS EN MODO PRUEBA DEL HMI

ANEXO G

**MANUAL DE OPERACIÓN DEL
APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE
ANTENAS**



RESPONSABLES:

Gustavo León C.

William Guamán C.

AMBATO-ECUADOR

Dirección: Aeropuerto Chachoán, sector Izamba

Teléfono: 032-8541232

ANEXO D	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS	Pág. 2 de 11
<p>1. Conceptos generales</p> <p>Apuntador electromecánico de antenas</p> <p>El apuntador de antenas es un sistema electromecánico empleado para proveer libertad de movimiento en azimut y elevación a antenas parabólicas de diferentes tamaños y aplicaciones, a fin de seguir la ruta de los UAV's en tierra y tratar de que exista en todo momento línea de vista.</p> <p>Está constituido por los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antena parabólica: Tiene forma de plato, de fácil montaje en la estructura superior, por medio de tres puntos de sujeción, dos de los cuales son de tipo clavija y uno móvil por medio del actuador lineal para darle movimiento en elevación. Esta antena puede ser sustituida por cualquier otra de similares dimensiones según sea la aplicación del UAV. • Estructura superior: Es una caja montada sobre la base de un tubo giratorio, allí se encuentra el actuador lineal y es capaz de soportar el peso de la antena parabólica, en su parte posterior tiene dos interruptores para habilitar la operación del movimiento en azimut. • Actuador lineal: Sirve para dar el movimiento en elevación de la antena desde una posición de 0 grados hacia 90 grados sobre el horizonte, fabricado en aluminio, se alimenta desde 6Vdc hasta 12Vdc, la carrera máxima es de 12inch y la velocidad de salida del pistón al máximo voltaje es de 05in/s. • Estructura inferior: Tiene forma de hexágono, se encuentra montada sobre el chasis y sirve para alojar dispositivos eléctricos, eléctricos electrónicos y mecánicos, tiene dos compuertas de apertura 		

ANEXO D	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECAÁNICO DE ANTENAS	Pág. 3 de 11
<p>Motor paso a paso: Es un motor bipolar que se alimenta hasta 48Vdc, con un torque de salida de 9,1Nm. Su eje gira solidario a un engranaje cónico de 16 dientes, este a su vez se acopla a otro engranaje cónico, de 64 dientes formando una reducción de 4:1 y así poder girar con mayor torque al tubo de acero inoxidable en conjunto a sus demás componentes.</p> <p>Chasis: Construido en acero estructural de 2inch. Sobre este se alojan todos los componentes del apuntador y por medio de 4 garruchas permite su fácil transportación, además aloja una caja donde converge el cableado y la conmutación de las antenas. En sus cuatro esquinas se encuentra unos tornillos de potencia que sirven como niveladores mecánicos de toda la estructura.</p> <p>Splitter: Es un dispositivo que conmuta el cable coaxial de las antenas A y B con el mismo principio que un relé, se energiza a 12Vdc.</p> <p>Compact RIO: Es el alma del sistema electromecánico de antenas, desde este dispositivo electrónico se puede establecer el HMI y los parámetros de las variables de control. Fabricado por la National Instruments, se alimenta de 9-35Vdc con un consumo máximo de 20W.</p> <p>2. Alcance</p> <p>Este procedimiento será aplicable para conocimiento de todo el personal técnico del CIDFAE que intervenga en las misiones de vuelo de cualquier UAV.</p>		

ANEXO D	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE APUNTADOR ELECTROMECÁNICO DE ANTENAS	Pág. 4 de 11
<p>3. Objetivo</p> <p>Establecer las principales actividades, normas y procedimientos relacionados al funcionamiento del sistema de apuntador de antenas, con el propósito de que el personal técnico encargado opere en forma correcta y segura.</p> <p>4. Responsables</p> <p>4.1. Jefe de la Misión</p> <p>Verifica que todo el personal involucrado en la operación del UAV, conozca del presente documento y se cumpla los procedimientos establecidos</p> <p>4.2. Personal de Telemetría</p> <p>Opera el sistema de apuntador de antenas de acuerdo a lo descrito en este procedimiento, apegándose y difundiendo las normas de seguridad a todo el personal involucrado.</p> <p>5. Tareas a realizar</p> <p>5.1. Consideraciones de Seguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antes de operar el sistema de apuntador, asegúrese de ubicarlo en un lugar lo más plano posible y con los niveladores hacia abajo, de tal forma que aseguren la inmovilidad de las ruedas del chasis. • Manténgase alejado del radio de giro de la antena (aproximadamente 1,5 m) • No usar accesorios como cadenas, pulseras y ropa muy holgada que pudiera quedar atrapada en la parte giratoria. 		

- Verifique que no se encuentre ningún objeto entre la estructura superior e inferior que atasque el normal movimiento de la antena.
- Asegúrese de que la extensión eléctrica se encuentre conectada al Shelter y que los conectores militares se encuentren bien sujetos.

5.2. Operación del sistema de apuntador

- Ubicar la estructura a una distancia de 5 a 7mts del Shelter.
- Verificar que no existan objetos que interfieran en los movimientos de azimut y elevación de la antena parabólica.
- Nivelar la estructura metálica con los cuatro tornillos tomando como referencia los niveles de burbuja ubicados sobre la estructura superior y sobre el tubo de aluminio de la antena TEKO P008L
- Verificar que el cableado (arnés) entre la estructura superior e inferior no se encuentre enredado, caso contrario levantar la tapa de la estructura superior, sacar el conector militar de 12 pines y proceder a ubicarlo de forma normal.



Figura 1: Ubicación del Conector tipo militar 12p

- Conectar el suministro de energía eléctrica y el conector tipo militar de 26 pines entre el shelter y el apuntador de antenas.



Figura 2: Ubicación del conector militar 26p

Inmediatamente se encenderá la luz piloto de 120Vdc

- Verificar que el NI compact RIO-9014 se encuentre energizado y que el conector RJ45 del cable de Ethernet se encuentre bien acoplado.



Figura 3: Verificación de parámetros del Compact-RIO

- Abrir el programa LabView 2011, en la ubicación archivos de programa/National Instruments



Figura 4: LabView 2011

- Abrir el archivo del proyecto de LabView denominado ARTURITO.lvprog

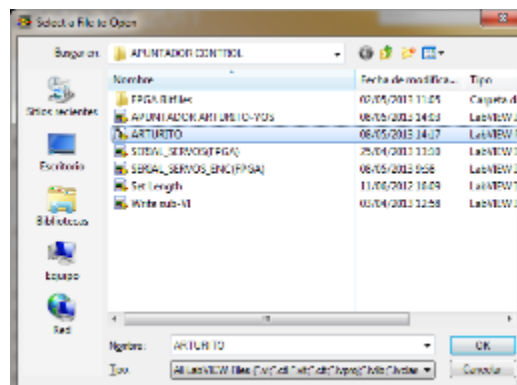


Figura 5: Selección del proyecto

- Luego en el explorador de proyectos de LabView 2011, hacer doble clic en la interface gráfica o el virtual Instrument denominado APUNTADOR ARTURITO-YOS.vi

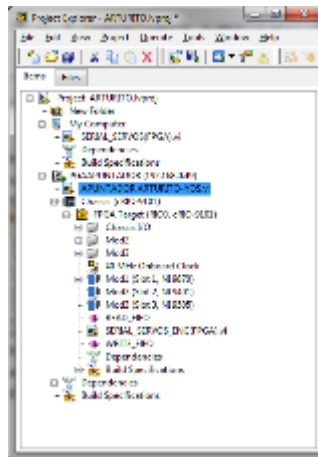


Figura 6: Explorador de proyectos de LabView

- A continuación aparece el HMI del sistema de posicionamiento de apuntador de antenas

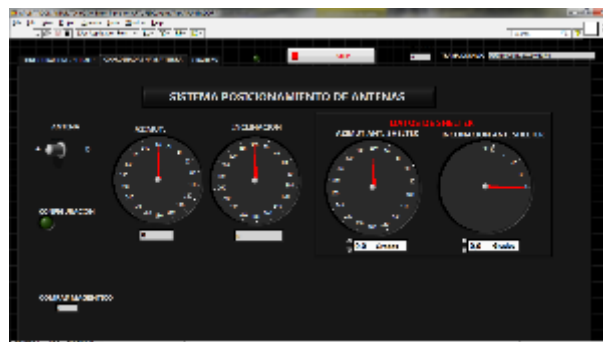

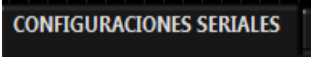


Figura 7: HMI diseñado para el Apuntador

- Luego se procede a ejecutar todo el proyecto presionando en el icono superior izquierdo Run 
- Hacer clic en la primera pestaña del Tab control 
- A continuación se verifica la configuración de la lectura del puerto

- En el HMI se configura estos valores para que se establezca la comunicación con el micro controlador.

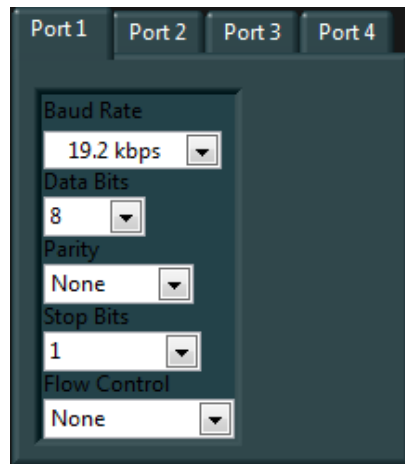


Figura 8: Configuración del puerto serial 1

- Una vez establecida la comunicación serial se procede a calibrar la antena con referencia al norte magnético obtenido por el INS.
- Seleccionar la posición OFF en el interruptor izquierdo ubicado en la parte posterior de la estructura, para girar libremente la antena.
- Abrir la compuerta donde se encuentra el display LCD 20x4 y encerrar la antena según el dato mostrado en el display CALIB:



Figura 9: Calibración de la antena

- Sin mover la antena; seleccionar la posición OFF en el interruptor derecho y luego bajarlo (ON) para encender el encoder y luego se restablecerá el conteo del mismo.



Figura 10: Reseteo del encoder





- Introducir por teclado los valores de las variables de control en azimut y elevación para empezar a operar el apuntador electromecánico de antenas.



Figura 11: Utilización del HMI para el apuntador

6. Equipos de protección personal

Para la operación del apuntador no es necesario utilizar equipos de protección personal, sin embargo como este mecanismo se encuentra en la plataforma y cerca de las operaciones de vuelo de los UAV's es recomendable utilizar los siguientes equipos de protección:

Denominación	Señal	Observación
Protección para la vista		La plataforma de vuelo está sujeta a FOD (foreign object damage)
Protección para los oídos		El ruido que provocan los motores de los UAV's, requieren de protección
Protección para los pies		Objetos pesados móviles como los equipos de apoyo en vuelo son parte del trabajo.
Protección para las manos		Se debe utilizar cuando implique riesgos para las manos o manipulación de materiales tóxicos

Latacunga, 31 de Mayo del 2013

Autores:

Wilian Guamán Cuenca

Gustavo León Castillo

Ing. Wilson Sánchez Ocaña

DIRECTOR DE CARRERA

INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Dr. Rodrigo Vaca Corrales

DIRECTOR DE LA UNIDAD

DE ADMISIÓN Y REGISTRO