E2.1. Herramienta y dispositivos IoT para la detección acústica y visual de aves

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Fundación Biodiversidad
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

Contenido

E2.1. Herramienta y dispositivos IoT para la detección acústica y visual de aves 1

1. Introducción 4

1.1 Objetivo 4

1.1 Alcance 4

2 Revisión de soluciones existentes integrables 5

2.1 Detección de vídeo 5

2.1.1 Cámara PTZ 5

2.1.2 Cámara 360º 7

2.1.3 Cámara direccional 8

2.1.4 Selección y conclusiones 10

2.2 Detección de audio 10

2.2.1 Micrófonos parabólicos 10

2.2.2 Hi-sound compact 13

2.2.3 AudioMoth 14

2.2.4 Grabadora UR44C 14

2.2.5 Selección y conclusiones 15

2.3 Procesadores 15

2.3.1 Raspberry Pi 4 15

2.3.2 LattePanda Delta 3 16

2.3.3 UDOO Vision X7 17

2.3.4 NVIDIA Jetson DSBOX-AGX 18

2.3.5 Selección y conclusiones 20

3 Solución propuesta 20

3.1 Diagrama de bloques 21

3.2 Diseño de la arquitectura 22

3.2.1 Comunicaciones del sistema 23

3.3 Diseño de la solución hardware 24

3.4 Sistema de alimentación externo 27

4 Software 28

4.1 Sistema operativo 28

4.2 Control de la cámara 29

4.3 Biblioteca Vapix 30

5 Montaje y pruebas 30

5.1 Montaje 30

5.2 Pruebas 32
5.3 Ubicación 32
5.4 Conclusiones 34
6 Referencias 36
7 Anexo I. Planos esquemáticos del cuadro eléctrico 39

1. Introducción

El proyecto titulado Plataforma de IA Explicable para la predicción y protección de aves en espacios destinados a ser parques eólicos, o de forma abreviada, IA4BIRDS, pretende diseñar una plataforma inteligente para optimizar la evaluación y planificación de espacios destinados a ser parques eólicos, basándose, principalmente, en la recopilación de datos sobre aves en la zona para su posterior análisis aplicando algoritmos de inteligencia artificial.

El proyecto se subdivide en diferentes tareas, que, en conjunto, permiten acometer la funcionalidad global del sistema. Este documento corresponde al entregable:

E2.1 - Herramienta y dispositivos IoT para la detección acústica y visual de aves, refleja los trabajos realizados y los resultados alcanzados durante la ejecución de la actividad

A2.1. Diseño e implementación de una herramienta de IoT para la monitorización acústica y visual de aves en tiempo real, cuyo objetivo es diseñar una herramienta de dispositivos IoT de bajo consumo y reducido tamaño que permitan monitorizar de forma acústica y visual las aves y su actividad en tiempo real.

Esta tarea está encuadrada dentro de la actividad **A2: Capa para la ingestión de datos de aves: red IoT, fuentes Big data y datos abiertos.** Cuyo objetivo es diseñar una plataforma que permita la recogida masiva de datos de aves desde fuentes heterogéneas e implementar una herramienta de sensores IoT para la monitorización acústica y visual de aves de cara a fusionar toda la información en una base única de conocimiento.

1.1 Objetivo

El objetivo principal de esta tarea es desarrollar una herramienta innovadora basa en dispositivos IoT. Se busca que el dispositivo final tenga un consumo y tamaño relativamente reducidos que permitan monitorizar de forma acústica y visual las aves y su actividad en tiempo real en su entorno natural. Esta información recopilada será, posteriormente, procesada y analizada. Para ello se han realizado una serie de subtareas que han permitido conseguir el objetivo propuesto.

Así, la relación de subtareas realizadas ha incluido la investigación de sensores para detección acústica y visual, estudio de mercada para conseguir el hardware más indicado, elección de puertos de comunicaciones de estos sensores, diseño de módulo de comunicaciones entre IoT y los nodos Edge, diseño de una fuente de alimentación convenientemente escalada, diseño del diagrama de bloques funcionales y enrutado de las placas o cuadros eléctricos necesarios, diseño e implementación del firmware de comunicación con los dispositivos y, finalmente, el montaje y la realización de test unitarios.

El cumplimiento de estas tareas ha permitido obtener un dispositivo IoT para monitorización acústica y visual de aves que se detallará en los apartados posteriores, mostrando la herramienta obtenida en el proceso.

1.1 Alcance

Este documento se encuentra en la versión 1.0, y aunque está sujeta a nuevas evoluciones si en las siguientes fases del proyecto se hacen necesarios ajustes, la investigación aquí plasmada trata de presentar el trabajo realizado para la consecución de los objetivos de la tarea de diseñar una plataforma de IA explicable para optimizar la evaluación de espacios destinados a ser parques eólicos.

2 Revisión de soluciones existentes integrables

A lo largo de este apartado se presentarán diferentes opciones a ser integradas en el proyecto IA4birds. Debe realizarse monitorización de audio y vídeo con el objetivo de detectar posibles especies de aves en ambientes naturales y, además, debe procesarse. Así, se presentarán tres apartados para detección de video, selección de cámaras, para detección de audio, selección de micrófonos y, para el procesado, selección de un sistema embebido que permita integrar los procesos de inteligencia artificial. Finalmente, se mostrarán las diferentes arquitecturas que pueden plantearse a partir de los elementos valorados, con el objetivo final de balancear y elegir la mejor opción para el proyecto.

2.1 Detección de vídeo

En este subapartado se presentarán las diferentes cámaras que se han barajado para el proyecto de IA4birds. De esta manera, se resumirán las características principales de cada una de ellas, atendiendo a sus ventajas e inconvenientes. En este caso, se incluirán cámaras con diferentes topologías y ángulos de visión.

2.1.1 Cámara PTZ

La primera opción que se presenta es una cámara PTZ (pan-tilt-zoom) que permite realizar una monitorización completa del espacio en el que se ubica.

En este caso, se ha seleccionado la cámara Q6225-LE, figura 1, del fabricante Axis, [1]. La robótica incorporada habilita movimientos de giro horizontal de 360º sin fin, giro vertical de -90º a 90º y un zoom óptico de hasta 31 aumentos. Estas características hacen este dispositivo ideal para vigilancia en entornos amplios y a larga distancia, adicionalmente, cuenta con un sistema de iluminación infrarrojo de largo alcance, hasta 400 metros, y análisis incorporado. Otros aspectos con los que cuenta el dispositivo es que cumple estándares militares, MIL-STD-810G, que garantiza su funcionamiento en condiciones muy adversas.



Figura 1. Imagen de la cámara Q6225-LE de Axis, extraída de [1].

La tabla 1 resume las características principales de la cámara.

Característica	Descripción
Sensor de imagen	CMOS de barrido progresivo de ½”
Longitud focal	6.91 – 214.64 mm, F1.36 – F4.6
Campo de visión horizontal	63.8º – 2,2º
Campo de visión vertical	37º – 1.3º
Enfoque	Automático
Velocidad de obturación	De 1/111000 a ½ segundos
Iluminación mínima	Color: 0.05 lux a 30 IRE F1.36

	B/N: 0.001 lux a 30 IRE 1.36, 0 lux con IR activado
Movimiento	Panorámica: 360º ilimitado Inclinación: de -90º a 90º
Velocidad de movimiento	Panorámica: 0,05º/s a 150º/s Inclinación: 0,05º/s a 150º/s
Precisión de movimiento	0.10º
Zoom	Óptico: x31; Digital: x12
Compresión de vídeo	H.264 (MPEG-4 Parte 10/AVC) H.265 (MPEG-H Parte 2/HEVC) Motion JPEG
Resolución	De 1920x1080 HDTV 1080p a 320x180
Velocidad de imagen	Hasta 60 imágenes por segundo
Seguridad de red	Filtrado de direcciones IP, HTTPS cifrado, control de acceso a la red cifrado IEEE 802.1X (EAP-TLS), registro de acceso de usuarios, gestión centralizada de certificados
Protocolos de red	IPv4/v6, ICMPv4/ICMPv6, HTTP, HTTP/2, HTTPS, TLS, QoS Layer 3 DiffServ, FTP, SFTP, CIFS/SMB, SMTP, mDNS (Bonjour), UPnP, SNMP v1/v2c/v3 (MIB-II), DNS/DNSv6, DDNS, NTP, NTS, RTSP, RTP, SRTP/RTSPS, TCP, UDP, IGMPv1/v2/v3, RTCP, ICMP, DHCPv4/v6, ARP, SOCKS, SSH, LLDP, NTCIP, CDP, MQTT v3.1.1, Secure syslog (RFC 3164/5424, UDP/TCP/TLS), dirección de enlace local (ZeroConf)
Interfaz de programación de aplicaciones	API abierta para integración de software, incluidos VAPIX® y AXIS Camera Application Platform, ONVIF® Profile G, ONVIF® Profile M, ONVIF® Profile S y ONVIF® Profile T
Homologaciones	EMC: EN 55035, EN 55032 Clase A, EN 50121-4, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2 Seguridad: CAN/CSA C22.2 N.º 62368-1, CAN/CSA-C22.2 N.º 60950-22, IEC/EN/UL 62368-1, IEC/EN/UL 60950-22, IEC/EN 62471 grupo de riesgo 2, IS 13252 Ambiental: IEC/EN 60529 IP66/IP68, NEMA 250 Tipo 4X, NEMA TS 2 (2.2.7-2.2.9), IEC/EN 62262 IK10, MIL-STD-810G (Método 500.5, 501.5, 502.5, 503.5, 505.5, 506.5, 507.5, 509.5, 510.5, 521.3), IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2, IEC 60068-2-6, IEC 60068-2-14, IEC 60068-2-27, IEC 60068-2-78 Red: NIST SP500-267 Ciberseguridad: ETSI EN 303 645
Ciberseguridad	Seguridad perimetral software: Firmware firmado, protección contra retrasos de fuerza bruta, autenticación Digest y flujo de código de autorización OpenID OAuth 2.0 RFC6749 para gestión centralizada de cuentas ADFS, protección mediante contraseña, cifrado de tarjeta SD AES-XTS-Plain64 de 256 bits Seguridad perimetral hardware: Plataforma de ciberseguridad Axis Edge Vault TPM 2.0 (CC EAL4+, FIPS 140-2 nivel 2), elemento seguro (CC EAL 6+), ID de dispositivo de Axis, almacén de claves seguro, vídeo firmado, arranque seguro Seguridad de red: IEEE 802.1X (EAP-TLS, PEAP-MSCHAPv2), IEEE 802.1AE (MACsec PSK/EAP-TLS), IEEE 802.1AR, HTTPS/HSTS, TLS v1.2/v1.3, Network Time Security (NTS), X.509 Certificado PKI, firewall basado en host

Alimentación	Midspan High PoE 90 W de 1 puerto: 100–240 V CA, 1,35 A máx. IEEE 802.3bt Tipo 4 Clase 8
Consumo	25 W típicos, 71 W máximos
Condiciones ambientales de funcionamiento	Temperatura: -50ºC a 55ºC Humedad relativa: 10 a 100% (con condensación) Velocidad del viento: 68m/s (245 Km/h)
Dimensiones	210 x 330 x 313 mm

Tabla 1: Características principales de la cámara Q6225-LE del fabricante Axis, [1].

2.1.2 Cámara 360º

Las cámaras 360º presentan una cobertura de 360º en el espacio mediante el uso de varias cámaras, denominándose cámaras multidireccionales. Estas cámaras permiten cubrir fácilmente un área más amplia, reduciendo los costes de instalación de cámaras individuales ya que integran las imágenes de todas las cámaras de forma transparente al usuario.

Para esta opción se ha seleccionado la cámara de red P3719-PLE, figura 2, del fabricante Axis, [2]. Esta cámara incorpora 4 objetivos varifocales habilitando una vigilancia general del entorno. La cámara permite un enfoque y zoom remotos, con iluminación infrarroja de 360º y una resolución de 15 MP. La iluminación infrarroja en este caso tiene un alcance de 15 metros que pueden ser algo más dependiendo de la escena.



Figura 2. Imagen de la cámara P3719-PLE de Axis, extraída de [2].

La tabla 2 resume las características principales de la cámara.

Característica	Descripción
Sensor de imagen	4xCMOS de barrido progresivo de 1/2,5”
Longitud focal	Varifocal 3 – 6 mm, F1.8 – F2.6
Campo de visión horizontal	101º – 49º
Campo de visión vertical	54º – 29º
Campo de visión diagonal	116º - 58º
Enfoque	Monitorizado
Velocidad de obturación	De 1/66500 a 1/5 segundos
Iluminación mínima	Color: 0.20 lux a 50 IRE F1.8 B/N: 0.04 lux a 50 IRE 1.8, 0 lux con IR activado
Movimiento (ajuste de ángulo)	Horizontal: ±90º, vertical: de 25 a 95º, rotación de -5º a 95º, giro ±20º
Compresión de vídeo	H.264 (MPEG-4 Parte 10/AVC) H.265 (MPEG-H Parte 2/HEVC)
Resolución	De 4x 2560x1440 (4 Quad HD) a 4x 384x216
Velocidad de imagen	Hasta 25/30 imágenes por segundo
Protocolos de red	IPv4, IPv6 USGv6, ICMPv4/ICMPv6, HTTP, HTTP/2, HTTPS, TLS, QoS Layer 3 DiffServ, FTP, CIFS/SMB, SMTP, mDNS (Bonjour), UPnPTM, SNMP v1/v2c/v3 (MIB-II), DNS/DNSv6,

	DDNS, NTP, NTS, RTSP, RTP, SRTP/RTSPS, SFTP, TCP, UDP, IGMPv1/v2/v3, RTCP, ICMP, DHCPv4/v6, ARP, SSH, LLDP, CDP, MQTT v3.1.1, Secure syslog (RFC 3164/5424, UDP/TCP/TLS), dirección de enlace local (ZeroConf)
Interfaz de programación de aplicaciones	API abierta para integración de software, incluidos VAPIX® y AXIS Camera Application Platform; ONVIF® Profile G, ONVIF® Profile M, ONVIF® Profile S y ONVIF® Profile T.
Homologaciones	EMC: EN 55032 Clase A, EN 50121-4, IEC 62236-4, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 55024, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, FCC Parte 15 Subparte B Clase A, ICES-003 Clase A, VCCI Clase A, RCM AS/NZS CISPR 32 Clase A Seguridad: IEC/EN/UL 62368-1, IEC/EN/UL 60950-22, IS 13252, IEC 62471 Ambiental: IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2, IEC 60068-2-6, IEC 60068-2-14, IEC 60068-2-27, IEC 60068-2-78, IEC/EN 60529 IP66/67, IEC/EN 62262 IK09, NEMA 250 Tipo 4X, NEMA TS 2 (2.2.7-2.2.9) Red: NIST SP500-267
Ciberseguridad	Seguridad perimetral software: Firmware firmado, protección contra retrasos de fuerza bruta, autenticación Digest y flujo de código de autorización OpenID OAuth 2.0 RFC6749 para gestión centralizada de cuentas ADFS, protección mediante contraseña Seguridad de red: IEEE 802.1X (EAP-TLS, PEAP-MSCHAPv2), HTTPS/HSTS, TLS v1.2/v1.3, Network Time Security (NTS), X.509 Certificado PKI, firewall basado en host
Alimentación	Ethernet (PoE) IEEE 802.3at Tipo 4 Clase 8
Consumo	IR activado: clase 4, 16.3W típicos, 25,5W máximos IR desactivado: clase 3, 10,7W típicos, 25,5W máximos
Condiciones ambientales de funcionamiento	Temperatura: -30ºC a 50ºC Humedad relativa: 10 a 100% (con condensación)
Dimensiones	Altura: 91,5 mm Diámetro: 255 mm

Tabla 2: Características principales de la cámara P3719-PLE del fabricante Axis, [2].

2.1.3 Cámara direccional

Este tipo de cámaras se ajustan a un formato más convencional. La información se registra en la zona hacia donde la cámara se encuentra dirigida en cada momento y, por lo tanto, la imagen que se registra coincide con la apertura de la imagen de la cámara y su orientación.

En este tipo de cámaras, se ha elegido la cámara Q1798-LE, figura 3, también de la compañía Axis, [3]. Es una cámara con gran sensibilidad y una resolución de 10 MP. Al incluir un campo de visión horizontal de 90 grados resulta ideal para áreas amplias y abiertas. La tabla 3 muestra las características más relevantes de esta cámara.



Figura 3. Imagen de la cámara Q1798-LE de Axis, extraída de [3].

Característica	Descripción
Sensor de imagen	4xCMOS de color con iluminación posterior de 4/3”
Longitud focal	Canon 12 – 48 mm, F1.7 – F4.0
Campo de visión horizontal	90º – 21º (4K) 86º – 20º (10 MP)
Campo de visión vertical	49º – 12º (4K) 62º – 15º (10 MP)
Enfoque	Autofocus (zoom activado), día/noche automático
Velocidad de obturación	De 1/45500 a 2 segundos
Iluminación mínima	Color: 0.03 lux a 50 IRE F1.7 B/N: 0.006 lux a 50 IRE 1.7, 0 lux con IR activado
Zoom	Óptico: x4, posiciones predefinidas
Compresión de vídeo	H.264 (MPEG-4 Parte 10/AVC) H.265 (MPEG-H Parte 2/HEVC) Motion JPEG
Resolución	3712x2784 10 MP a 160x90 3840x2160 4K a 160x90 Densidad de píxel máxima con zoom óptico de 4x: 10 m: 1036 px/m 25 m: 414 px/m 50 m: 207 px/m
Velocidad de imagen	4K: Hasta 30 imágenes por segundo 10MP: Hasta 20 imágenes por segundo
Seguridad de red	Filtrado de direcciones IP, HTTPS cifrado, control de acceso a la red cifrado IEEE 802.1X (EAP-TLS), registro de acceso de usuarios, gestión centralizada de certificados
Protocolos de red	IPv4, IPv6 USGv6, ICMPv4/ICMPv6, HTTP, HTTP/2, HTTPS, TLS, QoS Layer 3 DiffServ, FTP, SFTP, CIFS/SMB, SMTP, mDNS (Bonjour), UPnP, SNMP v1/v2c/v3 (MIB-II), DNS/DNSv6, DDNS, NTP, NTS, RTSP, RTP, SRTP/RTSPS, TCP, UDP, IGMPv1/v2/v3, RTCP, ICMP, DHCPv4/v6, ARP, SSH, LLDP, CDP, MQTT v3.1.1, Secure syslog (RFC 3164/5424, UDP/TCP/TLS), dirección de enlace local (ZeroConf)
Interfaz de programación de aplicaciones	API abierta para integración de software, incluidos VAPIX® y AXIS Camera Application Platform, ONVIF Profile G, ONVIF Profile S y ONVIF Profile T
Homologaciones	EMC: EN 55032 Clase A, EN 50121-4, IEC 62236-4, EN 55024, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, FCC Parte 15 Subparte B Clase A, ICES-003 Clase A, VCCI Clase A, RCM AS/NZS CISPR 32 Clase A, KCC KN32 Clase A, KN35, EAC Seguridad: IEC/EN/UL 62368-1, IEC/EN/UL 60950-22, EN/IEC 62471, IS 13252 Ambiental: IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2, IEC 60068-2-6, IEC 60068-2-14, IEC 60068-2-27, IEC 60068-2-78, IEC/EN 62262 IK10, IEC/EN 60529 IP66/IP67, NEMA 250 Tipo 4X, NEMA TS 2 (2.2.7–2.2.9) Red: NIST SP500-267
Ciberseguridad	Seguridad perimetral software: Firmware firmado, protección contra retrasos de fuerza bruta, autenticación Digest y flujo de código de autorización OpenID OAuth 2.0 RFC6749 para gestión centralizada de cuentas ADFS,

	protección mediante contraseña, cifrado de tarjeta SD AES-XTS-Plain64 de 256 bits Seguridad perimetral hardware: Arranque seguro Seguridad de red: IEEE 802.1X (EAP-TLS, PEAP-MSCHAPv2), IEEE 802.1AE (MACsec PSK/EAP-TLS), TLS v1.2/v1.3, Network Time Security (NTS), X.509 Certificado PKI, firewall basado en host
Alimentación	Ethernet (PoE) IEEE 802.3at Tipo 2 Clase 4 CC/CA
Consumo	13.3 W típicos, 24 W máximos (PoE) 12.9 W típicos, 23.2 W máximos (CC) 19.4 VA típicos, 33 VA máximos (CA)
Condiciones ambientales de funcionamiento	Temperatura: -40ºC a 60ºC Humedad relativa: 10 a 100% (con condensación) Velocidad del viento: 68m/s (245 Km/h)
Dimensiones	Longitud: 360 mm Diámetro: 147 mm

Tabla 3: Características principales de la cámara P3719-PLE del fabricante Axis, [3].

2.1.4 Selección y conclusiones

Tras un análisis de las diferentes soluciones propuestas y dada la naturaleza del caso de uso, se propone utilizar la cámara PTZ seleccionada y presentada en el apartado 2.1.1. Las características de esta cámara, principalmente, su versatilidad en el área de enfoque permitiendo cubrir todo el espacio y el zoom óptico de 31 aumentos que permite analizar en detalle zonas concretas de visualización, han hecho que sea la seleccionada y se integre en el sistema inteligente de monitorización de aves en espacios abiertos. Además, la posibilidad de tener visión nocturna mediante la fuente luminosa infrarroja habilita su posible funcionamiento en condiciones de baja luminosidad para obtener imágenes y el análisis de aves nocturnas u otras especies, por ejemplo, murciélagos. Adicionalmente, su robustez y preparación para entornos exteriores con climatología adversa también han contribuido a su selección final.

2.2 Detección de audio

Tras la revisión de los dispositivos de video, este subapartado presentará las diferentes soluciones de audio que se han tenido en cuenta a la hora de implementar el piloto del proyecto IA4birds. Al igual que en el caso anterior, se mostrarán las características principales de cada uno de ellos. Se incluyen micrófonos de diferentes tecnologías y acoples para adecuarlos al caso de uso que se persigue.

2.2.1 Micrófonos parabólicos

Se barajan dos micrófonos parabólicos empleados en tareas de escucha de fauna con alta calidad de sonido y bajo ruido. Se han seleccionado los dispositivos Hi-Sound DR parabolic y Hi-Sound parabolic, de la compañía Dodotronic, figura 4.

2.2.1.1. Hi-Sound DR parabolic

El primero de ellos, el Hi-Sound DR es un micrófono parabólico estéreo que tiene un reflector parabólico centrado en los laterales permitiendo una baja reflexión en la parte inferior y superior. Se emplea un reflector novedoso con 70cm de diámetro, y forma de infinito ∞, fabricado en policarbonato por sus propiedades mecánicas e invisibilidad al ser transparente. El micrófono incorpora una división que permite incrementar el efecto estéreo con dos focos

diferentes, de manera que se pueda localizar espacialmente el origen del sonido. El micrófono integra cuatro capsulas AOM-5024, dos en cada uno de los lados, con una gran calidad en términos de señal/ruido y sensibilidad. Además, se permite configurar conector Jack o XLR mediante cables completamente apantallados, debe utilizarse PIP (plug in power). Las características de este dispositivo se presentan en la tabla 4. La figura 5 muestra la respuesta en frecuencia de las capsulas AOM-5024 y, finalmente, un diagrama polar de sensibilidad del micrófono, figura 6.



Figura 4. Aspecto de los micrófonos parabólicos de Dodotronic, extraídas de [4] y [6].

Característica	Descripción
Diámetro externo	70 cm
Distancia focal	14 cm
Material del disco	Policarbonato
Rango de detección	70 Hz a 20 KHz
Sensor	AOM-5024
Sensibilidad	-24±3dB @ 1kHz
Voltaje	3V
Impedancia de salida	2,2 kΩ @ 1kHz
Consumo de corriente	500 µA
Señal a ruido	80 dB @ 1KHz, 94 dB entrada
Nivel de presión sonora máximo	110 dB (distorsión armónica total < 3%)
Directivas	EM 55011, EN 61326-1, EN 61000-4-2, EN 61000-4-3, EN 61000-4-8

Tabla 4: Características del micrófono Hi-Sound DR y las cápsulas integradas, [4] y [5].

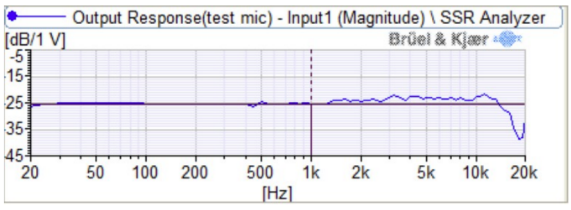


Figura 5. Respuesta en frecuencia típica para los sensores AOM-5024L-HD-R, [5].

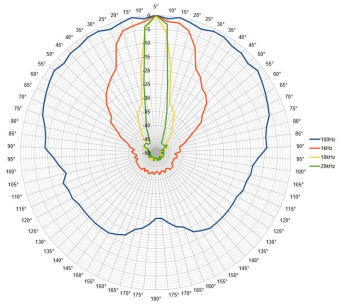


Figura 6. Diagrama polar del micrófono Hi-Sound DR parabólico, [6].

2.2.1.2 Hi-Sound parabolic

Por otro lado, el micrófono Hi-Sound EVO, igualmente, un micrófono parabólico que se presenta en varias versiones estéreo y mono. En este caso la parábola está hecha de poliacetal (delrin) mediante CNC. La versión estéreo presenta dos versiones diferentes: 4 sensores EM272, dos en cada lado, o 2 sensores AOM-5024, uno en cada lado. Por otro lado, la versión mono integra 4 sensores diferentes: 2 sensores omnidireccionales EM272 y 2 sensores directivos EM184, de esta manera ser permite la reconstrucción de una señal general independizando señales muy directivas que entren en el canal directivo. Las diferentes configuraciones se resumen en la tabla 5; y las características se presentan en la tabla 6. El dispositivo requiere de una conexión PIP (plug in power), aunque es compatible con adaptadores de XLR.

Configuración	Sensibilidad	Tipo	Estéreo/mono
EM272	Alta	Omnidireccional	Estéreo/mono
EM184	Alta	Direccional	Mono
AOM-5024	Muy alta	Omnidireccional	Estéreo

Tabla 5: Configuraciones disponibles para el micrófono Hi-Sound parabólico, [6].

Característica	Descripción
Diámetro externo	53 cm
Distancia focal	12,5 cm
Material del disco	Poliacetal
Rango de detección	100 Hz a 20 KHz
Sensor	EM272/EM184/AOM-5024
Sensibilidad	-28±3dB/-39±3dB/-24±3dB @ 1kHz
Voltaje	3V
Impedancia de salida	1,5 kΩ/1,4 kΩ/2,2 kΩ @ 1kHz
Consumo de corriente	<600 µA
Señal a ruido	80dB/72 dB/80 dB @ 1KHz, 94 dB entrada
Nivel de presión sonora máximo	119dB/122 dB/110 dB (distorsión armónica total < 3%)
Directivas	EM 55011, EN 61326-1, EN 61000-4-2, EN 61000-4-3, EN 61000-4-8

Tabla 6: Características principales del micrófono Hi-sound parabólico con todos los sensores que pueden integrarse en función de la configuración, [6], [7] y [8].

La figura 7 presenta la respuesta en frecuencia de los sensores EM272 y EM184. A su vez, la figura 8 muestra el diagrama polar que se consigue mediante el uso de este micrófono.

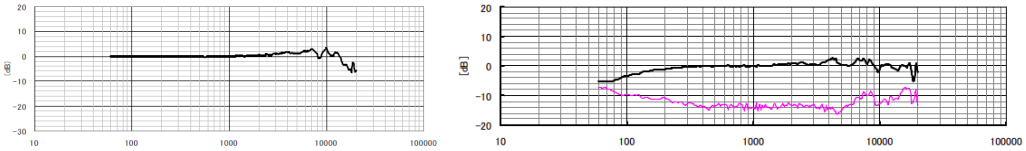


Figura 7. Respuesta en frecuencia para los micrófonos EM272 (izquierda) y EM184 (derecha), extraídos [7] y [8].

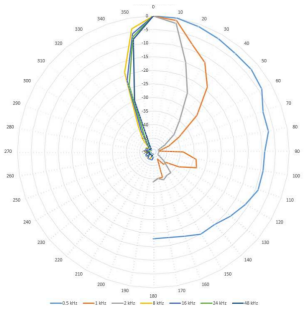


Figura 8. Diagrama polar de detección del micrófono Hi-sound parabólico, [6].

2.2.2 Hi-sound compact

El micrófono Hi-sound compact parabólico de Dodotronic se presenta en un apartado diferente de los casos anteriores, debido a que es un micrófono de un tamaño menor y se ha considerado aparte. En este caso, sería una simplificación del micrófono presentado en el apartado 2.2.1.1, con una gran direccionalidad, pero teniendo en cuenta algunas pérdidas en lo que respecta a amplificación y ruido de fondo. El material del elemento reflector es policarbonato. Este micrófono incorpora dos cápsulas AOM-5024 apuntando a cada uno de los lados del dispositivo y al centro del reflector. La conexión del micrófono se hace con un conector jack integrando PIP (plug in power). La tabla 7 presenta las características principales del micrófono parabólico compacto.

Característica	Descripción
Diámetro externo	35 cm
Distancia focal	7 cm
Material del disco	Policarbonato
Rango de detección	150 Hz a 20 KHz
Sensor	AOM-5024
Sensibilidad	-24±3dB @ 1kHz
Voltaje	3V
Impedancia de salida	2,2 kΩ @ 1kHz
Consumo de corriente	500 µA
Señal a ruido	80 dB @ 1KHz, 94 dB entrada
Nivel de presión sonora máximo	110 dB (distorsión armónica total < 3%)
Directivas	EM 55011, EN 61326-1, EN 61000-4-2, EN 61000-4-3, EN 61000-4-8

Tabla 7: Características principales del micrófono Hi-sound compact parabólico, [9].

Tal y como se ha indicado, el micrófono integra sensores AOM-5024 cuya respuesta en frecuencia se presentó en la figura 5. Al tener este micrófono un reflector diferente, su diagrama polar puede cambiar y se presenta en la figura 9.

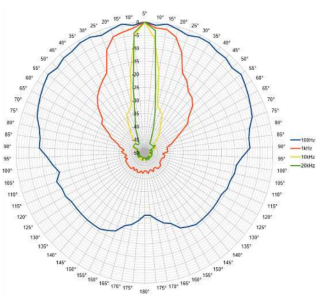


Figura 9. Diagrama polar de detección del micrófono Hi-sound compact parabólico, extraído de [9].

2.2.3 AudioMoth

Este dispositivo es un registrador de audio de amplio espectro y bajo coste, basado en el microcontrolador Gecko de Silicon Labs, [11], que puede convertirse en un micrófono USB o registrar los audios en una tarjeta SD. El AudioMoth es un equipamiento de código abierto considerado como un dispositivo de monitorización acústica de código abierto, [11], [12] y [13], cuyo sensor de audio es el SPU0410LR5H-QB del fabricante Knowles, [14]. Este sensor está muy bien caracterizado en su hoja de especificaciones [14] y, además, existen estudios en la literatura científica evaluando su funcionamiento [15] o la influencia de su encapsulado en el rendimiento [16]. La tabla 8 presenta las principales características del sistema de registro de Audiomoth.

Característica	Descripción
Rango de detección	100 Hz a 80 KHz
Sensor	SPU0410LR5H
Sensibilidad	-38±3dBV/Pa @ 1kHz
Voltaje	3V
Impedancia de salida	< 400 Ω @ 1kHz
Consumo de corriente	120 µA
Señal a ruido	63 dB @ 1KHz, 94 dB entrada
Nivel de presión sonora máximo	118 dB (distorsión armónica total 10%)
Directivas	IEC 68-2-4, IEC 68-2-2 Test Ba, IEC 68-2-2 Test Aa, JESD22-A101A-B, Mil-Std-883E, Method 2007.2 A, MIL 883E, Method 3015.7, IEC 61000-4-2, ESD STM5.2, IEC 68-2-27, Test Ea, 2011/65/EC, IEC 61249-2-21:2003

Tabla 8: Características principales del micrófono de AudioMoth que integra un SPU0410LR5H, [14].

El diagrama de detección del sensor de este dispositivo es omnidireccional, es decir, se realiza una detección en todas las direcciones; la carcasa utilizada puede afectar a esta omnidireccionalidad, [16]. Por otro lado, la figura 10 presenta la respuesta en frecuencia del dispositivo SPU0410LR5H para el rango completo entre 100 Hz y 80 kHz.

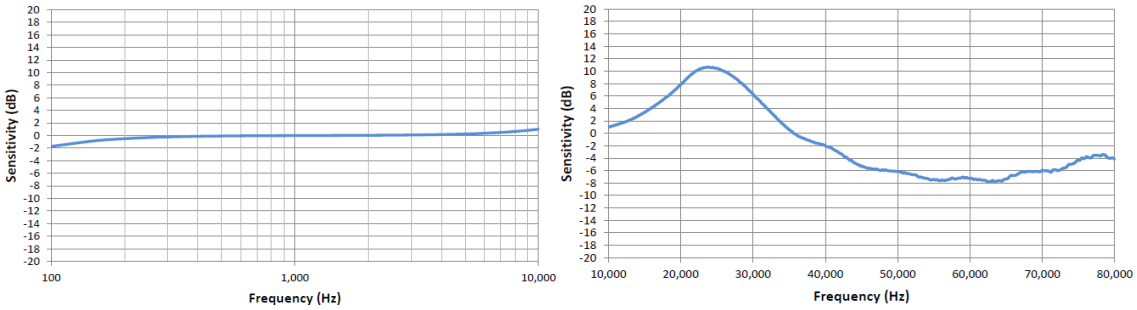


Figura 10. Respuesta en frecuencia en el rango entre 100 Hz y 80 kHz para el sensor SPU0410LR5H, [14].

2.2.4 Grabadora UR44C

La grabadora UR44C es una interfaz de audio con conexión USB 3.0 que incorpora 4 preamplificadores de micrófono con alimentación conmutable de 48 voltios, con 4 entradas combinadas de micrófono y línea XLR o Jack 6,3 mm, [17]. Estos preamplificadores tienen una tasa de muestro de 192 kHz y 32bits de audio de alta calidad para conseguir los mayores detalles de cualquier fuente de audio.

Con este dispositivo se podría digitalizar la señal proveniente de cualquiera de los micrófonos presentados en los apartados 2.2.1.1, 2.2.1.2 y 2.2.2, conectándolo en las entradas correspondientes permitiendo incluir hasta 4 micrófonos en la misma grabadora.

2.2.5 Selección y conclusiones

Para el micrófono y debido a las diferentes características presentadas, el dispositivo elegido ha sido el Audiomoth presentado en el aparatado 2.2.3. Este dispositivo, presenta una respuesta en frecuencia muy adecuada para el caso de uso propuesto y, además, registra hasta un valor de 80 kHz, lo cuál puede ser útil para detección de especies que emiten ultrasonidos. Por otro lado, no presenta una respuesta muy directiva como sí pasa con el resto de micrófonos válidos para el caso de uso, aunque según la literatura científica el comportamiento volumétrico está influido por la carcasa. Como valor adicional el micrófono está extendido en aplicaciones de monitorización y seguimiento en lo que respecta a fauna y, además, está caracterizado y ha sido estudiado por la comunidad científica. Finalmente, su razonable coste y la ausencia de elementos extra para su conexión con el sistema de procesado han contribuido a su selección.

2.3 Procesadores

La investigación realizada en cuanto a posibles unidades de cómputo para el sistema ha permitido seleccionar el dispositivo más adecuado para los requisitos y particularidades del proyecto IA4birds. Este apartado recoge los resultados de la investigación llevada a cabo y los criterios de selección de unidad de cómputo.

Las soluciones exploradas en cuanto a capacidad de cómputo, aunque difieren en cuanto a capacidad de procesamiento, cumplen en todos los casos unos criterios básicos, tabla 9.

Característica	Descripción
Sistema operativo	Los dispositivos cuentan con la capacidad de ejecutar un sistema operativo completo. Lo que permite más versatilidad y potencia de cómputo que las soluciones basadas en microcontrolador.
Conexión USB	Los dispositivos estudiados cuentan con una interfaz de conexión física USB, utilizada para la comunicación con el micrófono seleccionado.
Gigabit Ethernet	Los dispositivos estudiados cuentan con una interfaz de conexión física Gigabit Ethernet, utilizada para la comunicación con la cámara seleccionada.
Tamaño compacto	Los dispositivos cuentan con un tamaño reducido, que facilita su instalación en entornos remotos y su inclusión en un armario eléctrico.

Tabla 9: Características buscadas en los dispositivos de cómputo del sistema.

2.3.1 Raspberry Pi 4

La Raspberry Pi es el dispositivo SBC (Single Board Computer) por excelencia. Para este proyecto se ha estudiado la viabilidad de la Raspberry Pi modelo 4B de Raspberry Pi Foundation [18]. Este dispositivo de bajo coste se encuentra completamente caracterizado en su documentación oficial, prevista por el fabricante en su web oficial, [19].

La Raspberry Pi 4, ofrece una gran versatilidad gracias, principalmente, a su variedad de interfaces, como los cuarenta pines de entrada/salida de propósito general (GPIO, del inglés *General Purpose Input/Output*), la conectividad cableada Ethernet o la conectividad inalámbrica

WiFi y Bluetooth. Cuenta El procesador Broadcom BCM2711 de cuatro núcleos a 1.5 GHz y 64 bits permite ejecutar una gran variedad de sistemas operativos, desde el propio Raspberry Pi OS [20], hasta Ubuntu [21] o Debian. Las principales características de este SBC se muestran en la tabla 10; asimismo el formato y aspecto de la Raspberry Pi 4 B se muestra en la figura 11.

Característica	Descripción
SOC	Broadcom BCM2711
CPU	Procesador de cuatro núcleos a 1,5 GHz con brazo Cortex-A72
GPU	VideoCore VI (500MHz)
Memory	1/2/4GB LPDDR4 RAM
Conectivity	802.11ac Wi-Fi / Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet
Vídeo y sonido	2 x puertos micro-HDMI que admiten pantallas de 4K@60Hz a través de HDMI 2.0, puerto de pantalla MIPI DSI, puerto de cámara MIPI CSI, salida estéreo de 4 polos y puerto de vídeo compuesto.
Puertos	2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0
Alimentación	5V/3A vía USB-C, 5V vía cabezal GPIO
Expansión	Cabezal GPIO de 40 pines
SO	Linux arm64, Windows 10 IoT

Tabla 10: Características de la Rasberry Pi 4B, [19].

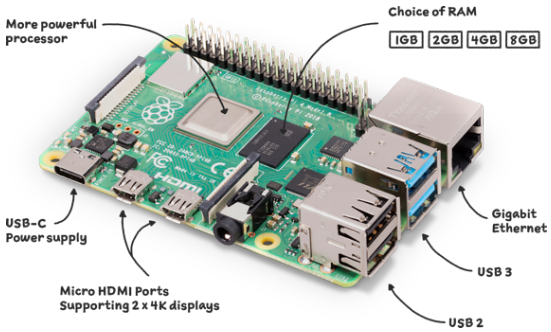


Figura 11. SBC Raspberry Pi 4B, extraído de [18].

2.3.2 LattePanda Delta 3

El dispositivo LattePanda Delta 3 de LattePanda Team, [22], es un dispositivo SBC pensada especialmente para desarrollos IoT basada en una combinación de procesador y con un coprocesador de tipo microcontrolador unidos en una misma placa. Esta combinación permite explotar los beneficios de un microcontrolador como el bajo consumo o su efectividad en el control de procesos automatizados, unidos a los beneficios de un procesador tradicional, que permite ejecutar un sistema operativo completo.

LattePanda Delta 3 combina un procesador Intel Celeron N5105 quad-core con una frecuencia de funcionamiento que oscila entre los 2.0 GHz y los 2.9 GHz junto con un coprocesador ATMEGA32U4. Al margen de esta combinación poco usual, este dispositivo integra una GPU Intel con una velocidad de reloj de 450 a 800 MHz. Posee 8 GB de memoria LPDDR4 a 2933 MHz y 64 GB de almacenamiento eMMC v5.1. Además, cuenta con multitud de interfaces inalámbricas (WiFi y Bluetooth) e interfaces físicas (GPIOs o USB).

El SBC LattePanda Delta 3 permite ejecutar sistemas operativos como Windows 10, Windows 11 o diferentes versiones de Linux, como Ubuntu [23]. Las características de este dispositivo se muestran en la tabla 11, y su aspecto en la figura 12.

Característica	Descripción
CPU	Intel Celeron N5105, 2.0-2.9GHz Quad-Core, Four-Thread
Co-Procesador	ATMEGA32U4
GPU	Intel UHD Graphics (Frequency: 450 – 800MHz)
RAM	LPDDR4 8GB 2933MHz
Almacenamiento	64GB eMMC
Conectividad	1x Wi-Fi 6 @ 2.4/5 GHz, 1x Bluetooth 5.2, 1x Gigabit Ethernet
Audio	Microphone + Headphone Combo Connector
GPIO y otras interfaces	12x AI, Up to 23x DI/DO (7 PWM), 1x UART, 1x I2C, 1x SPI, 1x Audio Connector, 1x 4-Pin RS232 Header, 1x Fan Port, 1x 4-Pin Header
USB	2x USB 3.2 Gen1 Type A, 1x USB 3.2 Gen2 Type A, 1x USB Type C, Supports PD, DP, USB 2.0, 1x USB 2.0 Pin Header
Video	1x HDMI 2.0b: Up to 4096x2160 @ 60Hz HDR Support, 1x DP1.4: Up to 4096x2160 @ 60Hz HDR Support, 1x eDP: Extendable Touch Displays up to 1920*1080
Expansión	1x M.2 B Key, PCIe 3.0 1x, Supports USB 2.0, USB 3.0, SATA, SIM, 1x M.2 M Key, PCIe 3.0 2x, Supports NVMe SSD
Alimentación	DC Jack Input: 12V DC, Type-C Input: 12/15V DC
Dimensiones	125 x 78 x 16mm
Temperatura Operativa	0°C~75°C
SO	Linux, Windows 10, Windows 11

Tabla 11: Características de la LattePanda Delta 3, [22].

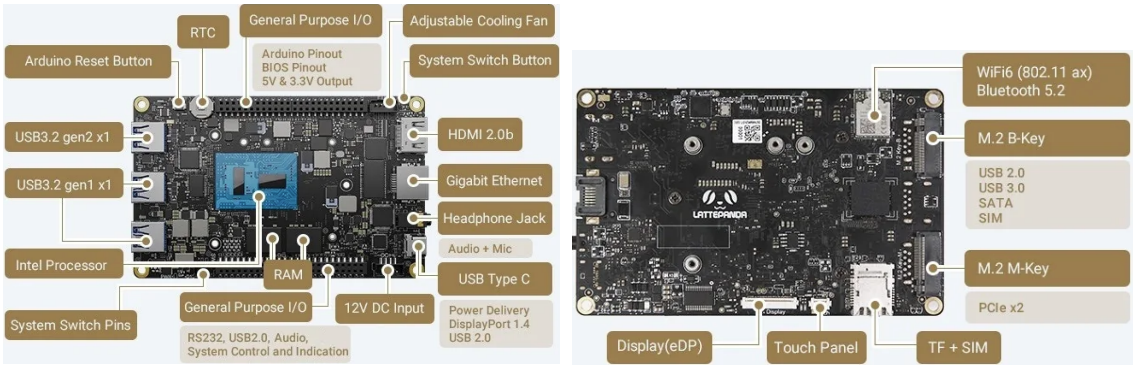


Figura 12. SBC LattePanda Delta 3, extraído de [22].

2.3.3 UDOO Vision X7

La UDOO Vision X7 de SECO SpA, [24], es otro de los dispositivos explorados. Es una placa pensada, tal y como indica su propio nombre, en la visión artificial y el análisis de imágenes a través de técnicas de inteligencia artificial. Cuenta con un procesador Intel Atom X7-E3950 que permite, como en los dispositivos anteriores, la ejecución de un sistema operativo completo y, por consiguiente, el uso de bibliotecas de programación dedicadas a inteligencia artificial y análisis de imágenes.

Del mismo modo que los dispositivos anteriores, la UDOO Vision X7 propone una solución que combina un procesador con un microprocesador. Esta combinación permite aprovechar las ventajas de un microprocesador en el ámbito de internet de las cosas unido a las capacidades de un procesador al uso.

Complementando esta combinación de procesadores, la UDOO Vision X7 cuenta con una RAM LPDDR4 de 8 GB y un conjunto bastante amplio de interfaces como USB 3.0, WiFi, Bluetooth y la posibilidad de incluir una tarjeta SIM de datos. Las características de este dispositivo se presentan en la tabla 12. La figura 13 muestra el formato y el aspecto del SBC UDOO Vision X7.

Característica	Descripción
CPU	CPU Intel Atom X7-E3950 up to 2.0 Ghz
Co-Processor	Microchip ATmega32U4 8-bit AVR RISC-based microcontroller
GPU	Intel® HD Graphics 500 series controller up to 700 MHz 18 Execution Units
RAM	8 GB LPDDR4 Quad-Channel
Almacenamiento	64GB eMMC soldered on-board, 1x M.2 Key B 2242/3042/2280 slot for SSD modules, 1x SATA III 6Gb/s connector, 1x MicroSD slot
Conectividad	1x Wi-Fi 6 @ 2.4/5 GHz, 1x Bluetooth 5.2, 1x Gigabit Ethernet
Alimentación	12 VDC
Expansión	1x M.2 Key-M SSD Slot, 1x M.2 Key-B, 1x SIM
Interfaz grafica	1x embedded DisplayPort, 1x Mini DisplayPort++ (with CEC line using HDMI adapters)
Comunicación inalámbrica	WiFi/Bluetooth/LTE/ 5G Connectivity by extension sockets
Dimensiones	160 mm x 110 mm x 65 mm, 1340 gr
Condiciones ambientes	-25°C … +85°C
Dimensiones	125 x 78 x 16mm
Interfaces	2x Gigabit Ethernet, 1x M.2 Key E slot for optional Wireless (WiFi+BT) Module, 1x M.2 Key B WWAN Slot (Type 2260/3042 modules accepted), HD Audio Codec Cirrus Logic CS4207, Microphone + Headphone Combo Connector
SO	Linux

Tabla 12: Características de la UDOO Vision X7, [24].

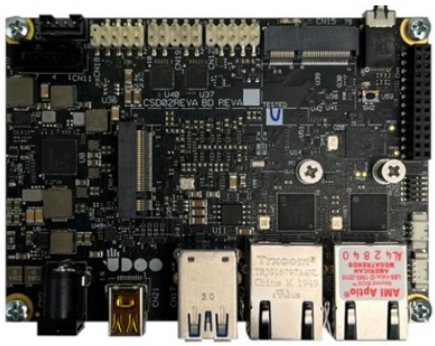


Figura 13. UDOO Vision X7, extraído de [24].

2.3.4 NVIDIA Jetson DSBOX-AGX

La NVIDIA Jetson DSBOX-AGX es un dispositivo SBC basado en NVIDIA Jetson AGX y desarrollado por Fore CR, [25]. La NVIDIA Jetson AGX, [26], cuenta con altas capacidades de procesamiento y hardware especializado en el procesamiento de modelos de inteligencia artificial. La GPU, diseñada por NVIDIA, junto con sus 32 GB de RAM LPDDR5, proporcionan un rendimiento de hasta 254 TOPS, ideal en soluciones basadas en inteligencia artificial. Esta placa permite trabajar

con un sistema operativo completo. Por otra parte, el dispositivo cuenta con interfaces USB, WiFi, Buetooth y 5G.

Basándose en esta placa de NVIDIA, el distribuidor y fabricante ForeCR, especializado en ordenadores rugerizados pensados explícitamente para industria, ha generado el dispositivo NVIDIA Jetson DSBOC-AGX. Se trata de un dispositivo compacto y robusto, cuyo encapsulado es apto para entornos industriales y hostiles. Es un dispositivo pensado para trabajar en entornos climáticos muy adversos. Las características principales se presentan en la tabla 13; adicionalmente, a modo ilustrativo se incluye la figura 14 y la figura 15 con el aspecto de la NVIDIA Jetson DSBOX-AGX.

Característica	Descripción
GPU	GPU de arquitectura NVIDIA Ampere de 1792 núcleos con 56 núcleos Tensor
CPU	CPU Arm® Cortex®-A78AE v8.2 de 8 núcleos y 64 bits
RAM	32 GB 256-bit LPDDR5x
Almacenamiento	64 GB eMMC 5.1 Flash, 1x MicroSD
Alimentación	12-32 VDC
Expansión	1x M.2 Key-M SSD Slot, 1x M.2 Key-B, 1x SIM
Interfaz grafica	1xHDMI 2.0(max resolution 3840x2160)
Comunicación inalámbrica	WiFi/Bluetooth/LTE/ 5G Connectivity by extension sockets
Dimensiones	160 mm x 110 mm x 65 mm, 1340 gr
Condiciones ambientes	-25°C … +85°C
Interfaces	1x Gigabit Ethernet, 2x USB 3.1 Type-A, 1x CAN Bus, 1x RS232/422/485 (software configurable), 2x USB-C (Debug/Recovery), 2x Digital Input, 3x Digital Output
Sistema operativo	Linux
GPU	GPU de arquitectura NVIDIA Ampere de 1792 núcleos con 56 núcleos Tensor

Tabla 13: Características de la NVIDIA Jetson DSBOX-AGX, [25].

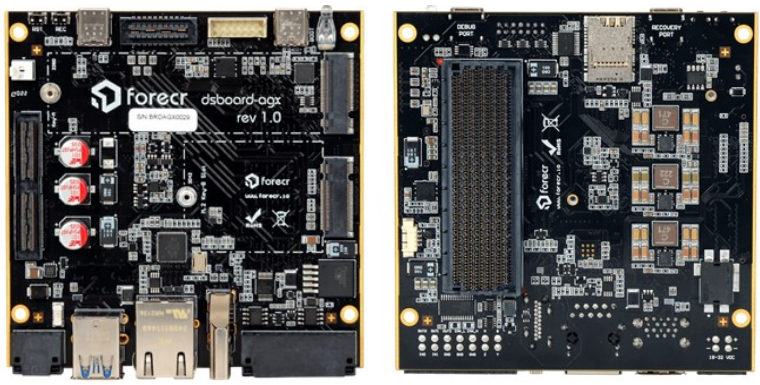


Figura 14. NVIDIA Jetson DSBOX-AGX vista delantera y trasera, extraído de [25].



Figura 15. NVIDIA Jetson DSBOX-AGX con carcasa rugerizada, extraído de [25].

2.3.5 Selección y conclusiones

El dispositivo seleccionado como nodo de procesamiento dentro del proyecto IA4Birds ha surgido como resultado de una investigación previa de las diferentes alternativas que ofrece el mercado en la actualidad. Para la selección del nodo, se han tenido en cuenta tres factores diferentes. En primer lugar, los algoritmos de inteligencia artificial que se ejecutarán en este dispositivo. En segundo lugar, la compatibilidad con los dispositivos de imagen y video que han sido seleccionados previamente. Por último, el lugar de colocación del dispositivo, que viene dado por el propio enfoque del proyecto.

Atendiendo al primer criterio, se hace necesario contar con un dispositivo que tenga capacidades de cómputo de altas prestaciones, pensadas para mover algoritmos de inteligencia artificial. En este aspecto, destacan la UDOO Vision x7 y la NVIDIA Jetson DSBOX-AGX.

Respecto al segundo criterio, es necesario destacar, que, aunque algunas de las opciones del mercado cuentan con interfaces físicas diseñadas explícitamente para entornos IoT, este desarrollo utiliza la cámara Q6225-LE y el micrófono Audiomoth. En ambos casos, se trata de dispositivos avanzados, que utilizan sistemas de comunicación de alto nivel. En el caso de la cámara, la transmisión de video se realiza mediante un protocolo de red, por lo que solo será necesario contar con conexión ethernet. En el caso del micrófono, tan solo es necesario contar con interfaces físicas USB. Bajo este criterio, cualquier solución SBC del mercado que cuente con un puerto Ethernet y puertos USB sería compatible con los dispositivos anteriores.

Desde el punto de vista del último criterio, la solución desarrollada debe estar situada en entornos rurales y, por tanto, estará expuesta a ambientes climatológicos adversos. En este sentido, es necesario utilizar con un nodo de procesamiento que cuente con un encapsulado robusto y con certificaciones IP. En este último criterio, la NVIDIA Jetson DSBOX-AGX sale claramente favorecida, ya cuenta con un encapsulado rugerizado (del inglés, *ruggedised*) de grado industrial.

Atendiendo a estos tres criterios, se ha seleccionado la solución basada en NVIDIA Jetson debido a sus altas capacidades de cómputo y su especialización en inteligencia artificial, unido a la robustez de su encapsulado. Las soluciones basadas en una combinación de procesador y microprocesador, aunque interesantes, carecen de utilidad en este desarrollo concreto, debido a los dispositivos de micrófono y cámara seleccionados.

3 Solución propuesta

La solución propuesta y desarrollada para el proyecto IA4birds ha surgido tras una amplia investigación en tecnología disponible, como se ha expuesto en apartados anteriores. Los siguientes puntos describen detalladamente el diseño desarrollado tanto a nivel lógico como a nivel despliegue de hardware.

El desarrollo de este dispositivo está ligado a las restricciones marcadas por el propio proyecto. Este dispositivo debe desplegarse en entornos alejados de las ciudades donde podría no existir una conexión cableada a internet, lo que limita significativamente el ancho de banda disponible debido al precio de las conexiones de datos móviles. Este hecho, no afecta a la arquitectura planteada pudiendo estar basada en un patrón de capas Edge-Cloud típica de aplicaciones en el ámbito del Internet de las cosas, pero si afecta a la funcionalidad del dispositivo y a la capa Edge, ya que implica que los datos deban procesarse en el borde de la red, enviando hacia la capa

Cloud solo los resultados de estos análisis y no el bruto de datos recogidos por la cámara y el micrófono.

Por otro lado, el hecho de estar situado a la intemperie ha determinado algunas de las características físicas del sistema, como el hecho de que los componentes electrónicos estén contenidos en un armario eléctrico con protección y acondicionamiento climáticos.

3.1 Diagrama de bloques

En este apartado se presentará un diagrama de bloques de alto nivel para todo el sistema. La figura 16 muestra los bloques en los que se ha dividido el equipamiento. Así, existe una parte de sensórica, básicamente, la detección de vídeo con una cámara y la detección de audio con un micrófono. En el caso de la detección de audio es necesario un acondicionamiento antes de llegar al subsistema de procesado, mientras que la cámara puede enviar directamente los datos en *streaming* para su procesado. Adicionalmente, la cámara es necesario comandarla desde el sistema de procesado para su orientación y enfoque.

Complementariamente al sistema de procesado, se ha incluido un sistema de almacenamiento que permitirá, almacenar aquellos datos procesador y ya extraídos, o realizar un procesado a partir de imágenes pregrabadas.

La parte de comunicaciones se muestra en la parte derecha de la figura 16 junto con las antenas necesarias para la transmisión en las diferentes tecnologías. Finalmente, la parte de alimentación que se explicará en detalle en este apartado se presenta, junto con sus conexiones a todos los subsistemas.

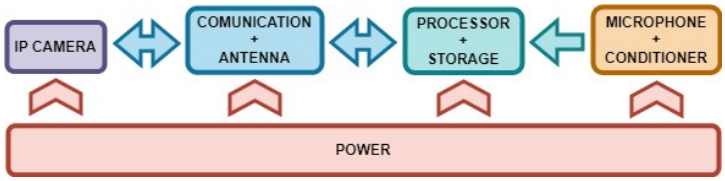


Figura 16. Diagrama de bloques de la solución propuesta en el proyecto IA4birds para monitorización de aves en entornos naturales y el procesado de la información recogida.

La figura 17 muestra en mayor detalle el diagrama de bloques de la solución propuesta incluyendo los dispositivos que se han integrado. El código de colores sigue la misma idea en la figura 16 y la figura 17. Tal y cómo se ha explicado en el apartado 5, se presenta la cámara PTZ Q6225-LE del fabricante Axis como elemento de detección de vídeo y el dispositivo AudioMoth como equipamiento de registro y acondicionamiento de audio. Adicionalmente, se presenta una Jetson Orin AGX de 32 GB de NVidia, [26], sobre una placa industrial DSBOX-AGX de ForeCR, [25], para el procesado junto con un disco SSD de 2TB de Western Digital, [27].

En lo que respecta a las comunicaciones, se ha seleccionado un *router* RUTX11 de Teltonika, [28], con diferentes comunicaciones disponibles: 4G (LTE) – Cat 6, 802.11b/g/n/ac Wave 2 (WiFi 5), Bluetooth *low energy*, ethernet 1 puerto WAN y 3 puertos LAN 10/100/1000 Mbps, compatible con estándares IEEE 802.3, IEEE 802.3u y 802.3az, y GNSS (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo y QZSS); además, se muestra la antena que permite el correcto funcionamiento de todas estas tecnologías, modelo PR1KC028, [29]. También, este dispositivo presenta funcionalidades avanzadas en cuanto a VPN, MQTT, conectividad Modbus o OPCUA entre otras, lo que le posiciona como una solución potente para entornos industriales y despliegue de soluciones robustas multiprotocolo. Adicionalmente, en la figura 17 se han señalado los puertos de comunicaciones que se utilizan en cada una de las interfaces físicas del procesador con el resto

de los dispositivos; aunque no aparece en el diagrama para la cámara es necesario el empleo de un inyector PoE para su alimentación, concretamente, se ha elegido el modelo 90W Midspan AC/DC de Axis, [30]. El dispositivo de audio se conecta mediante USB al procesador, la cámara se conecta a través de Gigabit Ethernet y el almacenamiento mediante una interfaz NVM Express.

En lo que respecta al bloque de alimentación presentado en la figura 16, se utiliza una fuente de 24 voltios a partir de voltaje de 220 VAC. Con el fin de tener un respaldo ante apagones, se ha incluido un sistema de alimentación ininterrumpida junto con una batería. Para esta parte se han utilizado dispositivos de la compañía Phoenix Contact, en concreto, la fuente de alimentación QUINT4-PS/1AC/24DC/10, [31], de 24 VDC y 10 A de corriente máxima, un sistema de alimentación ininterrumpida QUINT4-UPS/24DC/24DC/10, [32], y un módulo de batería UPS-BAT/PB/24DC/4AH, [33], de 4 Ah a 24 VDC.

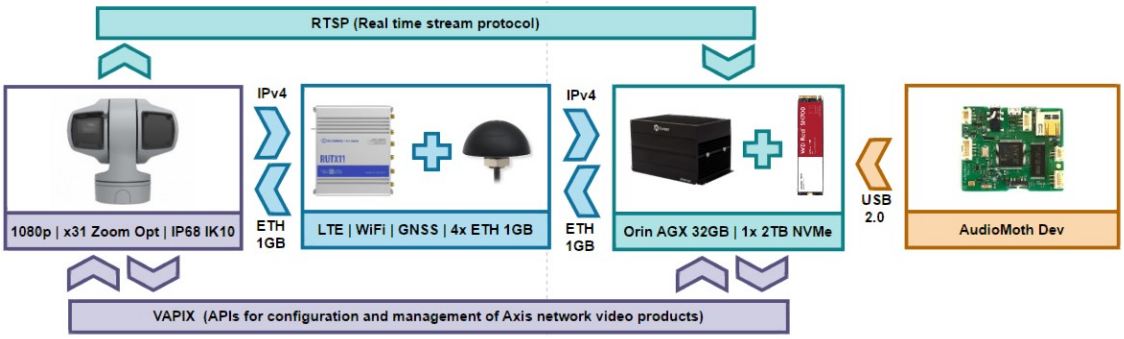


Figura 17. Especificación de diferentes elementos del diagrama de bloques; por simplicidad se ha eliminado el subsistema de alimentación.

3.2 Diseño de la arquitectura

Todo sistema informático debe desarrollarse acorde a una arquitectura previamente diseñada. La arquitectura del sistema debe ajustarse, adaptarse y cumplir con todos los requisitos, tanto funcionales como no funcionales del proyecto.

El proyecto IA4birds no es diferente en este aspecto. Para realizar un diseño de la arquitectura ha sido necesario explorar y comprender las necesidades del proyecto definidas en el apartado 1.1 Objetivo. En cuanto a la arquitectura, la principal peculiaridad viene dada por la restricción de ancho de banda a internet, que implica dotar a la capa Edge de la capacidad de almacenar y procesar video y audio, incluyendo en esta las subcapas de almacenamiento y visión artificial. De esta forma se posibilita que el dispositivo funcione en entornos alejados, donde el ancho de banda disponible sea limitado, debido a una red de datos móviles. De cualquier otro modo habría que lidiar con el encarecimiento que supone disponer de una tarjeta de red celular con banda ancha suficiente como para enviar todos lo GigaBytes de datos de video y audio recogidos a la nube.

El sistema final, cuenta con una plataforma que permite mostrar los datos recogidos por el dispositivo de monitorización de aves. A pesar de que la capa de análisis se mantiene en el Edge, es decir, en el borde, el sistema final cuenta con una arquitectura de dos capas típica de internet de las cosas (IoT)

La figura 16 muestra la arquitectura de capas Edge-Cloud tradicional en los sistemas IoT, que ha sido utilizada también en este caso. En esta arquitectura, cada una de las capas se especializa en una funcionalidad diferente. Por un lado, está la capa Cloud, que no se desarrolla en este

entregable, y que se encarga de albergar la plataforma web del proyecto, junto con el almacenamiento de los datos recogidos de fuentes externas y del dispositivo de monitorización desarrollado.

A su vez, la capa Edge es la capa que se desarrolla en **E2.1 – Herramienta y dispositivos IoT para la detección acústica y visual de aves** y que queda recogida en esta documentación. La capa Edge, se encarga de la recogida de datos y monitorización de aves. La capa Edge alberga la herramienta desarrollada, recogida en la figura 16, donde se muestra la interconexión de dispositivos. Este diagrama muestra internamente los componentes a nivel físicos de la capa Edge. En este diagrama se muestra que el dispositivo cuenta con un ordenador NVIDIA Jetson Orin AGX, dispositivo capaz de analizar el video y audio recogidos y procesarlos in situ. El sistema almacena los resultados del análisis de forma local, es decir, en la capa Edge.



Figura 18. Arquitectura de dos capas Edge-Cloud adaptada a la particularidad de funcionar sin conexión permanente para el envío de datos.

La capa Edge se especializa en la recogida de datos, para lo que cuenta con la cámara y el micrófono seleccionados, del almacenamiento de los datos recogidos y del procesado en el borde de los mismos gracias a su potente unidad de cómputo. Los algoritmos de inteligencia artificial serán ejecutados por la NVIDIA Jetson y los resultados obtenidos se almacenarán, una vez más, de forma local al Edge.

La figura 17 muestra el dispositivo desarrollado a nivel físico, es decir, a nivel de hardware. En este diagrama se describen todos los componentes físicos que componen el dispositivo de monitorización. De forma complementaria, se presenta la figura 19, que muestra los elementos de la capa Edge, pero en este caso a nivel lógico. Es decir, se muestran los componentes y sus interacciones, sin mostrar su separación en componentes físicos. En esta figura 19 encontramos el sistema de almacenamiento, el motor de procesamiento basado en inteligencia artificial, la cámara y el micrófono como sensores, y los motores PTZ de la cámara y su sistema zoom como actuadores.

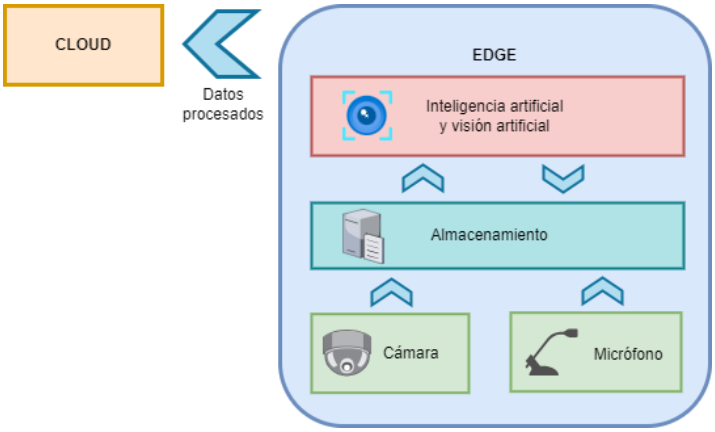


Figura 19. Detalle de arquitectura del Edge a nivel lógico.

3.2.1 Comunicaciones del sistema

El sistema desarrollado, como todo sistema distribuido, cuya funcionalidad se recoge en diferentes capas, necesita un mecanismo de comunicación para realizar el envío de datos

necesario entre capas. Las particularidades del proyecto IA4birds y la restricción en cuanto a ancho de banda de subida al Cloud hacen que la capa Edge tenga que ser completamente autónoma. Los datos recogidos son procesados de tal forma que sólo los resultados del análisis son enviados a la plataforma Cloud. Para este envío, el Edge cuenta con conexión de datos móviles con tecnología celular.

Para facilitar el mantenimiento o configuración del sistema, la NVIDIA Jetson adicionalmente admitirá conexiones SSH, de tal forma que no es necesario extraerla del cuadro eléctrico, simplemente conectarse a esta mediante una red local, utilizando un ordenador y mediante la conexión SSH es posible administrar el sistema para su mantenimiento y configuración. Otra variante que se ha implementado es levantar una red WiFi local (sin conexión directa a internet) con la NVIDIA Jetson y administrarla mediante un software de escritorio remoto con el mismo fin.

Esta particularidad, aunque presenta desventajas frente a un sistema continuamente conectado a Internet, permite que el dispositivo funcione de forma autónoma sin depender de una conexión constante.

3.3 Diseño de la solución hardware

En lo que respecta a la solución, se ha diseñado un armario eléctrico con todos los componentes necesarios para su funcionamiento y acondicionado para trabajo en exteriores en condiciones climáticas adversas. Así, se ha he elegido un cuadro de la compañía Rittal, modelo AX 1376.000, [34] y [35], con unas dimensiones de 600x760x350 mm, de 2mm de acero imprimido por inmersión y junta de poliuretano que le otorgan una estanqueidad IP66; el armario se presenta con una puerta y dos cierres de aldabilla. Además, el armario incluye una placa de montaje de acero galvanizado.

Para garantizar un correcto funcionamiento del sistema en entornos remotos y expuestos a diferentes condiciones climática, frío y calor, se ha incluido sistemas que garanticen la correcta ventilación y refrigeración, así como un sistema calefactor que garantiza la temperatura óptima sin que se comprometa la estanqueidad del conjunto. Así, siguiendo las indicaciones, [36], utilizando todo componentes del fabricante Rittal, se ha seleccionado una resistencia calefactora SK 3105.380, [37], un termostato SK3110.000, [38], un ventilador con filtro SK 3238.100, [39], un sistema de control de velocidad para el ventilador SK3120.200, [40], y un filtro de salida SK 3238.200, [39].

Además, de estos accesorios relacionados con la climatología, se han incluido algunos complementos adicionales de Rittal para mejorar la usabilidad del equipamiento. Un retenedor de puerta AX2519.020 [41] permite estabilizar la puerta mientras se realizan operaciones de mantenimiento o puesta en marcha del sistema, una luminaria led SZ 2500.100 [42] para una correcta visibilidad en las operaciones, un interruptor de puerta SZ 2500.460 [43] para el control de la luminaria y sus conexiones SZ 2500.520, diferentes elementos de montaje carril AX 2394.350 [44] y ángulo CP 6205.100 [45], y latiguillo de tierra SZ 2568.000.

Junto a todos estos elementos integrados en el armario, se han incluido elementos de control y conectividad para los dispositivos presentados anteriormente en el apartado 3. Así se han integrado dispositivos de protección diferencial ADS917D, [46], protección magnetotérmica MCN516, e interruptores de conmutación SBN216, todos ellos del fabricante Hager; adicionalmente, se han utilizado diferentes borneras de diferentes calibres de conexión de los fabricantes Wago (series 2102 y 2104) y Phoenix Contact (serie PT 1,5/s), distribuidores de señal

de diferentes caneles de Legrand [47] y Eriflex [48] y una toma *schuko* 709-581 para interior de cuadro carril DIN de Wago, [49].

El aspecto exterior del armario se presenta en la figura 20. En esta imagen se observa el armario con dos respiradores para entrada y salida de aire, en este caso, uno de ellos presenta un ventilador que realizará el intercambio de aire; ambas aberturas mantendrán la estanqueidad de todo el equipamiento en un nivel adecuado a las condiciones de aplicación. En la parte inferior izquierda se muestra una abertura en la que se colocará un prensa-estopa para salida del cable. Por otro lado, la figura 21 presenta el aspecto interior del armario con todos los elementos descritos ubicados en su interior.



Figura 20. Aspecto exterior de la solución diseñada: armario eléctrico con sistema de climatización integrado. En este caso, en la puerta se observa las rejillas tanto para el ventilador con filtro como para la entrada con filtro.



Figura 21. Distribución interior de los elementos en el armario eléctrico sobre el que se ha implementado la solución propuesta. En la parte superior, sobre la tapa, se observa la luminaria y el sistema de retención de puerta; en el lateral izquierdo, el interruptor para detección de puerta abierta y el termostato; en el lateral derecho, la resistencia calefactora. Sobre la placa de montaje y en tres filas, de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha: sistema de procesado Jetson Orin AGX, *router* RUTX11, inyector PoE; sistema de alimentación (batería, sistema de gestión y fuente de alimentación), distribuidores de conexión, interruptores y controlador de ventilación; protecciones eléctricas (magnetotérmico y diferencial), distribuidores de conexión y enchufe *schuko* hembra.

Para representar adecuadamente la construcción del equipo, se han preparado unos esquemas de cableado amistosos que permiten relacionar los colores de forma visual, figura 22, figura 23 y figura 24; los diagramas esquemáticos habituales en este tipo de diseños se presentan en el Anexo I. Planos esquemáticos del cuadro eléctrico. Los esquemáticos completos se incluyen en el Anexo I. Planos esquemáticos del cuadro eléctrico.

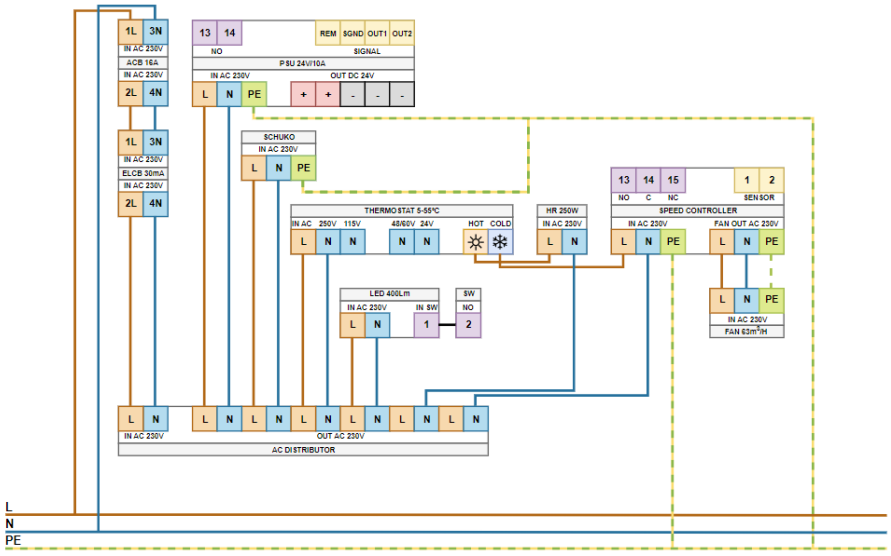


Figura 22. Cableado de la parte de 220 VAC del sistema presentado. En este esquema visual se han tenido en cuenta todos aquellos elementos que son alimentados con corriente alterna 220 VAC. Se han utilizado colores para una analogía visual entre el cuadro y el dibujo esquemático y, además, se han incluido los elementos de distribución en el interior del cuadro.

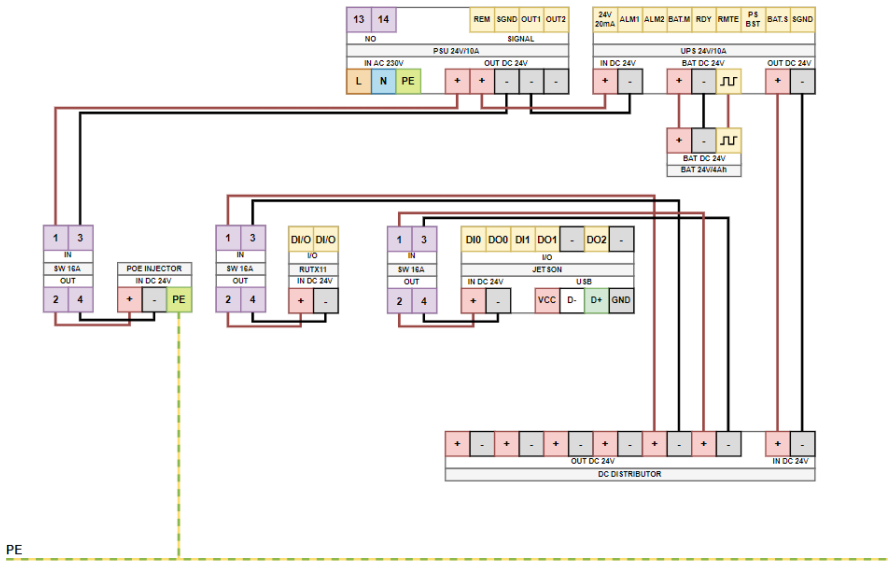


Figura 23. Cableado de la parte de 24 VDC del sistema presentado. En este esquema visual se han tenido en cuenta todos aquellos elementos que son alimentados con corriente continua 24 VDC. Al igual que en la **figura 22** se han incluido los colores con analogía visual y se incluyen aquellas partes de distribución necesarias.

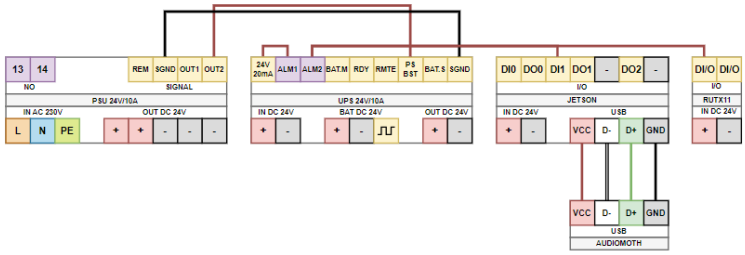


Figura 24. Cableado de la parte de control de dispositivos dentro del sistema diseñado. Se utilizan analogías en los colores representados y los reales.

3.4 Sistema de alimentación externo

Este dispositivo presenta un consumo de hasta 160 watios, y está pensado para su alimentación a la red eléctrica; aunque a este dato de consumo habría que añadir el sistema de climatización, se considerará en primera instancia excluido del escalado de la solución. Concretamente, se estima una alimentación a 220VAC, e internamente se realiza una conversión, mediante el sistema de alimentación presentado en el apartado 3.3, a 24 voltios. Además, el sistema de alimentación ininterrumpida garantiza el funcionamiento del sistema para un apagado correcto ante la pérdida de la alimentación principal.

En el caso de que quiera realizarse una puesta en marcha del sistema en un lugar remoto, debido a las altas capacidades de rendimiento que debe tener, es necesario instalar un sistema de alimentación acorde a las necesidades de procesado del sistema completo incluyendo cámara y micrófono. Así, sería necesario tener una batería escalada para el funcionamiento del sistema, garantizando su funcionamiento durante un periodo estipulado y, si se pretende tener que éste dure varios días, un sistema de recarga de la batería para garantizar mayor autonomía.

Así, con la potencia que se estiman consumirán los dispositivos en un sistema sin pérdidas se podría calcular la corriente necesaria para alimentarlos en función del voltaje de la batería, siguiendo la ecuación (1). Así, para un consumo de 160W, se tendría un consumo de corriente de (2) y de (3), para 12 y 24 voltios, respectivamente.

$$P = VI \tag{1}$$

$$I = 13,\hat{3}A, \quad si\ P = 160W\ y\ V = 12V \tag{2}$$

$$I = 6,\hat{6}A, \quad si\ P = 160W\ y\ V = 24V \tag{3}$$

Por lo tanto, en función del voltaje de la batería y de la capacidad de ésta se podría obtener el tiempo de funcionamiento del sistema completo; para un sistema sin pérdidas, aplicando (4) se obtiene el tiempo de funcionamiento dependiente del consumo de corriente.

$$t = \frac{Q(Ah)}{I} \tag{4}$$

Con estos datos, por ejemplo, para una batería de 24 voltios y 50Ah, [50], o 120 Ah, [51], la duración en horas se calcula según (5) y (6), respectivamente; siempre teniendo en cuenta que el sistema de alimentación no tiene pérdidas; cabe la pena mencionar que la capacidad del sistema puede incrementarse mediante la correcta asociación de baterías. Siempre que la capacidad de la batería se especifique en Wh, sería posible simplificar el cálculo mediante (7), independientemente del voltaje.

$$t = 7{,}5\ horas,\ \ si\ Q = 50Ah\ y\ I = 6.\hat{6}A \tag{5}$$

$$t = 18\ horas,\ \ si\ Q = 120Ah\ y\ I = 6.\hat{6}A \tag{6}$$

$$t = \frac{Q(Wh)}{P} \tag{7}$$

Tras este cálculo, una vez que se obtiene la duración teórica de la batería, seguiría siendo necesario con el sistema actual utilizar un conversor desde el voltaje de la batería al voltaje de funcionamiento del cuadro eléctrico. Así, mediante un sistema invertir, se podrían conseguir los 220 voltios de alterna necesarios para su correcto funcionamiento. Aunque por un tema de optimización de recursos cabría la posibilidad de modificar el sistema de alimentación presentado en el apartado 3.3 y conseguir que la batería pudiera utilizarse con su voltaje de especificación como alimentación del equipo mediante una conmutación de las entradas. En este caso, la entrada de 24 voltios del dispositivo de gestión ininterrumpida quedaría conectada a la batería.

En caso de que fuera necesaria una mayor autonomía del sistema de monitorización, se podría combinar con un sistema solar de recarga basado en placas solares y un cargador. Así, dimensionando adecuadamente la recarga se puede incrementar la autonomía o conseguir un sistema autónomo; por ejemplo, con un panel solar de 550 watios y una corriente de cortocircuito 13.98 amperios, [52], se podría recargar el sistema completamente en menos de 9 horas, (4), asumiendo una eficiencia del 100% en el sistema y con condiciones climáticas óptimas, fácilmente alcanzables en España, en verano y en un lugar despejado. Además, con la adecuada combinación de estos elementos se puede minimizar el tiempo de recarga para obtener una más rápida carga y/o una mejora de la misma en condiciones climáticas menos favorables. En este caso, para conseguir una recarga lo más óptima posible debe utilizarse un sistema de recarga de alta eficiencia, por ejemplo, el dispositivo MPPT 100 | 30 de Victron Energy, [53]. Adicionalmente, aunque el grueso del sistema sea alimentado directamente a 24 voltios desde la batería, puede ser necesario el uso de un inversor para obtener alimentación de 220 VAC, por ejemplo, el inversor Sun 24V | 250VA de Victron Energy, [54].

En caso de que sea necesario tener en cuenta el sistema de climatización del equipamiento y este quiera ser activado en un sistema alimentado con baterías habría que incrementar el consumo, al menos, en 250 watios para la resistencia calefactora y 15 watios para el ventilador de refrigeración. Si se considera que el dispositivo va a ser utilizado en las condiciones climáticas más favorables, verano y muchas horas de luz, el consumo de esta parte estaría muy acotado ya que la resistencia calefactora funcionaría puntualmente. En este caso, los datos presentados se considerarían igualmente válidos con una variación de ±10%.

4 Software

Este apartado describe el software utilizado en la NVIDIA Jetson dentro del proyecto IA4birds.

4.1 Sistema operativo

El dispositivo desarrollado, y más concretamente su elemento de cómputo, es decir, la NVIDIA Jetson DSBOX AGX es capaz de albergar un sistema operativo completo en su interior. Uno de los requisitos a la hora de seleccionar la unidad de cómputo, además de su potencia de procesamiento de imágenes, ha sido la capacidad de ejecutar un sistema operativo completo.

La NVIDIA Jetson tiene instalado el sistema operativo basado en Ubuntu 20.04, [55]. Este sistema operativo, de la familia Unix, es la versión más popular de Linux, desarrollada por Canonical Ltd, e incorpora las últimas actualizaciones de software y de ciberseguridad. Se trata de la versión 20.04 que es LTS (*Long Term Support*), es decir, esta versión ofrece soporte a largo plazo. La familia de procesadores gráficos NVIDIA Jetson es compatible con diferentes versiones de Ubuntu Linux, sin embargo, no utiliza el sistema operativo tradicional, sino una versión, recompilada específicamente para el procesador NVIDIA, lo que incrementa la eficiencia del sistema operativo en este tipo de procesadores. Esta versión de Ubuntu 22.04 es ofrecida por NVIDIA a través de su software llamado SDK Manager [56]. El propio fabricante ForeCr, ofrece documentación oficial para la instalación del sistema operativo a través de su web, [57].

Contar con un sistema operativo completo proporciona ventajas como la gestión avanzada de recursos, el manejo simple de conexiones y protocolos de comunicación, algo muy útil a la hora de trabajar con la cámara y el micrófono, la capacidad de multitarea, y en última instancia, la posibilidad de contar con una interfaz gráfica, que simplifique su configuración, mantenimiento y recogida de datos manual.

El sistema operativo permite la instalación de Python 3 junto con todas las bibliotecas de inteligencia artificial más populares en la actualidad. Esto permite, que los modelos de visión artificial desarrollados en la actividad **A3: Machine Learning para la detección y monitorización de aves**. Estos modelos, una vez implementados, serán ejecutados en la NVIDIA Jetson.

4.2 Control de la cámara

Tras la investigación realizada, la cámara seleccionada es el modelo Q6225-LE de la empresa Axis [1]. Las cámaras de esta empresa, y más concretamente el modelo seleccionado, ofrecen una interfaz web que permite el control de la cámara y el acceso al vídeo en *streaming*.

La cámara estará conectada a las NVIDIA Jetson mediante una conexión Ethernet, esta conexión permite a la cámara ofrecer su interfaz web a través de esta red local. El software ofrecido por Axis viene completamente documentado en su web [1]. En esta documentación se detalla cómo crear la cuenta de administrador necesaria para administrar la cámara a través de su interfaz, como realizar los ajustes básicos de la cámara, manejar el eje PTZ para ajustar la vista y orientar la cámara y activar/desactivar la grabación de vídeo. Para la puesta en marcha de la cámara se ha seguido el tutorial completo, lo que ha permitido una configuración correcta del sistema.

La documentación de Axis es suficientemente detallada y completa como para aprender a utilizar la cámara y manipular todas sus opciones. La interfaz ofrecida por Axis a través de la web estará siempre operativa para permitir administrar la cámara de forma simple. Es importante tener en cuenta que a esta web se accede de forma local, es decir, no estará disponible a través de internet ni será accesible de forma remota, lo que supone un aumento en la seguridad del sistema.

La interfaz ofrece opciones para la administración del audio de la cámara, que también cuenta con micrófono, aunque al no ser un micrófono especializado en aves, si no, más bien en sonido ambiente, estas grabaciones solo tendrán un fin experimental y serán descartadas en su mayoría. El estudio mediante inteligencia artificial se realizará con los audios procedentes del micrófono AudioMoth.

4.3 Biblioteca Vapix

La empresa Axis ofrece una biblioteca para desarrolladores que permite la gestión vía software de sus cámaras. Esta biblioteca recibe el nombre de Vapix [58] e incluye mecanismos vía API local para la gestión de las configuraciones de la cámara. Esta biblioteca ofrece las mismas funcionalidades de configuración que la interfaz, sin embargo, ofrece la posibilidad de controlar la cámara a través de código de programación. Esta opción será utilizada por la inteligencia artificial para ejecutar acciones como rotar el eje PTZ de la cámara o realizar zoom in o zoom out sobre un punto de interés en el cielo.

5 Montaje y pruebas

Este apartado muestra el desarrollo del prototipo, desde su montaje físico, su instalación, las pruebas realizadas y primeros resultados hasta el emplazamiento de la propia instalación.

5.1 Montaje

El montaje del dispositivo ha consistido principalmente en integrar todos los dispositivos detallados en la figura 17 de la forma en la que han sido diseñados previamente, ver figura 21. Como se ha detallado en el apartado 3.3 Diseño de la solución hardware, la integración ha sido evaluada minuciosamente. La distribución de componentes en el cuadro eléctrico que los integra ha sido modelada en 3D con el fin de poder validar el diseño del cuadro de forma previa a su mecanización.

El correcto diseño de este cuadro ha simplificado el proceso de mecanización e integración de componentes en el cuadro que ha sido llevado a cabo en el taller de AIR Institute. El cableado y distribución de componentes se ajusta a lo establecido en la figura 22, figura 23 y figura 24. La figura 25, figura 26 y figura 27 muestran algunas imágenes del proceso de montaje del cuadro. De forma similar, la figura 28 muestra la instalación de la cámara en el edificio de AIR Institute.



Figura 25. Montaje de elementos en el cuadro eléctrico



Figura 26. Mecanizado de la carcasa externa del cuadro eléctrico



Figura 27. Imágenes en detalle del montaje del cuadro. Izquierda: clemas de distribución, magnetotérmico, distribuidor bipolar y enchufe *schuko*. Centro: batería, SAI, PSU, distribuidor monopolar, interruptor, controlador velocidad. Derecha: Jetson, router e inyector PoE.



Figura 28. Instalación de la cámara en la azotea del edificio de investigación del AIR Institute "Edificio IoT e Inteligencia Artificial"

5.2 Pruebas

Tras la instalación, se ha procedido a realizar la configuración y testeo del dispositivo. Para realizar la configuración de sus componentes, se ha utilizado el software de Axis [1]. Además, se ha instalado el sistema operativo en la NVIDIA Jetson utilizando el software SDK Manager [56].

La instalación del software ha permitido realizar testeos de grabación con la cámara cuyos resultados se muestran a continuación. Principalmente, las pruebas realizadas han buscado exprimir al máximo el zoom de la cámara y trabajar bajo situaciones lumínicas difíciles, cono contraluz o baja luminosidad.

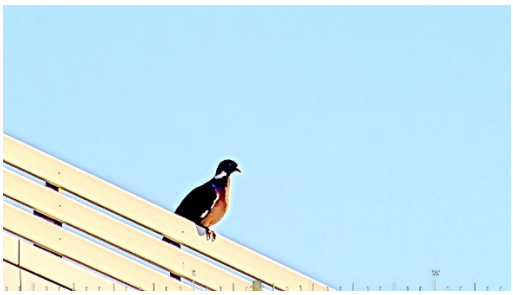




Figura 29. Izquierda: Paloma fotografiada en una de las azoteas cercanas a unos 120 metros de distancia. Derecha: aerogeneradores situados a unos 20 kilómetros de distancia de la cámara según la cartografía del Instituto Geográfico Nacional (IGN) Parque eólico de Matabuey al norte de Garcihernández, 40.870271, -5.435150, [59].

5.3 Ubicación

Uno de los aspectos más relevantes en cuanto al desarrollo del proyecto IA4birds ha sido identificar el lugar de actuación. Seleccionar el lugar correctamente será crucial a la hora de recopilar un *dataset* con suficientes datos útiles que permitan entrenar los modelos de inteligencia artificial.

Para la instalación del prototipo se han barajado diferentes opciones. El aspecto más relevante a la hora de seleccionar la ubicación ideal pasa por que en dicha ubicación existan diferentes especies de aves que se puedan grabar y catalogar.

En la ciudad de Salamanca, existe el Centro de Recuperación de Fauna Silveste (CSRF) Las Dunas [60]. Se trata de un centro perteneciente a la Junta de Castilla y León que forma parte de la Red de Centros de Recuperación que la junta ha promovido en diferentes provincias. Entre las muchas labores del centro, nos interesa particularmente la misión de recuperación y suelta de aves de diferentes especies protegidas. Además de las aves tratadas en el propio centro, el emplazamiento de este, a las afueras de la ciudad, cerca del rio y en una zona arbolada, hacen que sea un emplazamiento privilegiado para el avistamiento de aves.

Además se han detectado por la zona el vuelo de algunas bandadas en migración, cigüeñas, milanos y otras rapaces y multitud de aves de pequeño y mediano tamaño, por lo que se espera recopilar los primeros datos interesantes para el desarrollo de los modelos de detección por IA.

Entre las posibilidades que ofrecía el entorno cercano se ha determinado que este puede ser un buen emplazamiento para realizar la colecta de datos con los que generar un *dataset* para el entrenamiento de los modelos de visión artificial.

AIR Institute cuenta con un edificio de investigación cuyo edificio se encuentra en un punto cercano a Las Dunas, como se muestra en la figura 30. Además, encontrarse relativamente cerca, está en una posición elevada cuya azotea tiene visión directa y privilegiada a la zona donde se emplaza el CSRF Las Dunas.

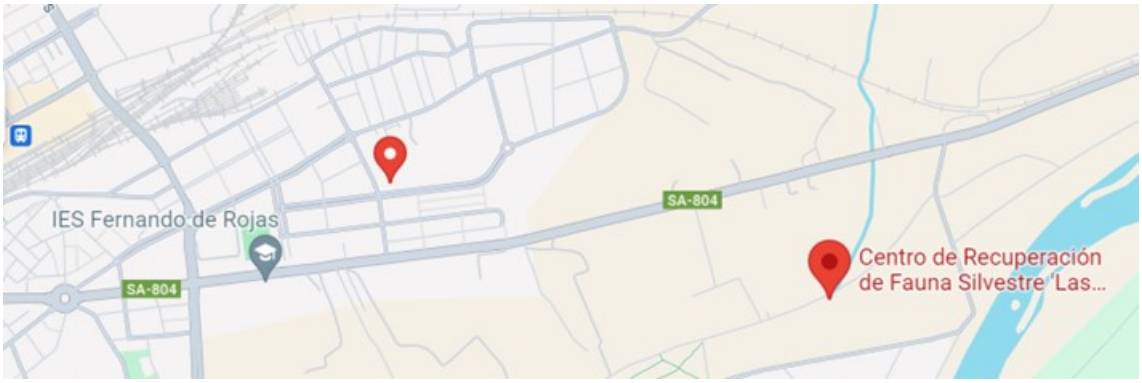


Figura 30. Emplazamiento del Centro de Recuperación de Fauna Silvestre "Las Dunas" y el edificio de investigación del AIR Institute "Edificio IoT e Inteligencia Artificial".

Se están explorando otras localizaciones que puedan ser interesantes para la toma de datos en campo, puesto que el desarrollo del sistema necesita de un entrenamiento con datos reales y a ser posible por datos capturados por la propia cámara, para que el sistema pueda adquirir todo el potencial posible.

Se han mantenido reuniones con SEO Birdlife con interés por el proyecto y con posibilidades de estableces algún acuerdo cuando el producto alcance mayor desarrollo, recomendando una serie de localizaciones, pero sin la posibilidad de tener conexión a línea eléctrica, por lo que de momento no se valora esa posibilidad, en caso de necesidad se planteará la posibilidad de implementar un sistema de baterías y placa solar, lo que encarecía el producto final. Se han contactado con parques eólicos de Salamanca sin respuesta, se contactarán con otros para tratar de montar la solución en un parque en funcionamiento, pensando que pueden ser buenas localizaciones para desarrollar alguna solución para la protección de impacto con aspas de aerogeneradores.

5.4 Conclusiones

El desarrollo del sistema presentado da comienzo con una revisión exhaustiva y minuciosa de la literatura existente acerca de detección de patrones de comportamiento de aves y otros animales en su hábitat natural.

Existe una gran variedad de artículos y publicaciones en la literatura científica que exploran diferentes soluciones para la detección de aves a través de técnicas de inteligencia artificial de procesado de imágenes [61] o de audio [62]. En este ámbito se están desarrollando nuevos algoritmos mejorando la eficacia en la detección ya sea en video para detección de pájaros [63] y [64] o en el audio [65] y [66]. Sin embargo, tras la búsqueda bibliográfica realizada, no ha sido posible encontrar artículos que describan de forma detallada los mecanismos o el sistema utilizado para la captación de muestras de video y audio sobre las que poder aplicar las técnicas descritas. La motivación de este desarrollo y de la publicación del presente artículo proviene, precisamente, de este hecho.

El sistema desarrollado permite tomar imágenes y video de todo el espacio del cielo gracias al eje PTZ de la cámara Q6225-LE y a su sistema de zoom óptico, ambos controlables de forma remota y automatizada. La cámara cuenta con una combinación de motores que permiten realizar una rotación 360 grados en diferentes ejes, lo que posibilita realizar un barrido completo del cielo. Esta capacidad, permite no solo detectar un ave, sino ubicarla en un punto concreto del cielo, e incluso, seguir la trayectoria del ave controlando el eje móvil de la cámara para mantenerla enfocada en todo momento hacia el punto de interés. Esta capacidad permite generar mapas de calor dentro del espacio de visión de la cámara, lo que permitirá en un futuro analizar con mayor nivel de detalle los patrones de comportamiento de las aves sobre el espacio susceptible de convertirse en un parque eólico. Como añadido, la cámara permite un zoom óptico, habilidad que proporciona al sistema la capacidad de enfocar de forma cercana un ave concreta, facilitando la identificación de la especie concreta.

El sistema de captación de audio Audiomoth proporciona al sistema la capacidad de detección de audio tridimensional. Ha diferencia de los sistemas de escucha direccionales, que precisan de la orientación del micrófono, el dispositivo seleccionado es capaz de recoger audio en todas direcciones. El micrófono, está especialmente pensado para trabajar de forma desatendida. Esto, unido a su bajo coste, permite, trabajar no solo con un micrófono, sino ampliar el sistema y poder desplegar un ecosistema de micrófonos que permitan la captación de audio en diferentes puntos del espacio sobre el que se realiza un estudio.

Otro aspecto interesante de la recogida de información es la versatilidad que ofrece el sistema. No ha sido pensado únicamente para la monitorización de aves, sino que permite recoger información sobre otros animales que pueden verse afectados por la instalación de un parque eólico, como son los murciélagos. La cámara ofrece la posibilidad de activar un foco infrarrojo que permite la grabación de video en bajas condiciones de luminosidad. A su vez, el micrófono permite grabar en frecuencias en la franja compatible con la ecolocalización de los murciélagos, permitiendo su detección.

Por último, podemos concluir que la capacidad de procesamiento in situ con la que cuenta el sistema, gracias al procesador NVIDIA Jetson, permite que el conjunto funcione completamente de forma local, sin depender de una conexión de datos móviles que encarecería considerablemente el mantenimiento del sistema, e incluso imposibilitaría que fuese desplegado en lugares remotos, desprovistos de conectividad. La capacidad de procesamiento

local permite incluir los algoritmos de inteligencia artificial y análisis de datos en el propio prototipo, permitiendo que sea posible tomar decisiones como hacia donde enfocar la cámara, realizar zoom y activar o desactivar el foco infrarrojo en función de las condiciones.

El desarrollo ha desembocado en un sistema completo y autónomo para la captación de información sobre aves y otros animales, capaz de registrar datos sobre video y audio a tiempo completo, e incluso actuar de forma óptima en base a los resultados del análisis realizado. Este desarrollo, pretende convertirse en una herramienta completa y fiable para la realización de estudios de patrones de comportamiento de aves.

6 Referencias

[1] Axis (2024) AXIS Q6225-LE PTZ Camera Cámara PTZ muy resistente y con infrarrojos de largo alcance. Hoja de datos.

[2] Axis (2024) AXIS P3719-PLE Network Camera Cámara multidireccional 15 MP con infrarrojos para una cobertura de 360°. Hoja de datos.

[3] Axis (2024) AXIS Q1798-LE Network Camera 4K sin compromiso. Hoja de datos.

[4] Dodotronic (2022) Hi-Sound DR parabolic microphone. High-quality, very low-noise audio parabolic microphone. User guide.

[5] PUI audio (2017) AOM-5024L-HD-R. Datasheet.

[6] Dodotronic (2022) Hi-Sound parabolic microphones. Hi quality parabolic microphones. User guide.

[7] Primo Co., LTD (2018) EM272Z1 Electret Condenser Microphone. Datasheet.

[8] Primo Co., LTD (2010) EM184 Electret Condenser Microphone. Datasheet.

[9] Dodotronic (2022) Hi-Sound compact parabolic microphones. High-quality, very low-noise audio parabolic microphone. User guide.

[10] Silicon Labs (2020) EFM32 Gecko Family – EFM32G Data Sheet. Datasheet.

[11] Open Acoustic Devices (2022) AudioMoth Operation Manual. Operation manual.

[12] Andrew P. Hill, Peter Prince, Evelyn Piña Covarrubias, C. Patrick Doncaster, Jake L. Snaddon, Alex Rogers (2017) AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. Methods in Ecology and Evolution, 9 (5), p. 1199-1211. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12955.

[13] Andrew P. Hill, Peter Prince, Jake L. Snaddon, C. Patrick Doncaster and Alex Rogers (2019) AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment, HardwareX, 6, e00073, ISSN 2468-0672, https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00073.

[14] Knowles (2013) SPU0410LR5H Zero-Height Sisonic Microphone. Datasheet.

[15] Lapp, Sam, Nickolus Stahlman and Justin Kitzes (2023) A Quantitative Evaluation of the Performance of the Low-Cost AudioMoth Acoustic Recording Unit. Sensors 23 (11): 5254. https://doi.org/10.3390/s23115254

[16] Osborne, Patrick E., Tatiana Alvares-Sanches and Paul R. White (2023) To Bag or Not to Bag? How AudioMoth-Based Passive Acoustic Monitoring Is Impacted by Protective Coverings. Sensors 23 (16): 7287. https://doi.org/10.3390/s23167287

[17] Steinberg (2019) UR44C USB Audio Interface Operation Manual.

[18] Raspberry Pi Foundation (2024) Teach, learn and make with the Raspberry Pi Foundation. Disponible en https://www.raspberrypi.org, última visita 24 de abril de 2024.

[19] Raspberry Pi Foundation (2024) Raspberry Pi 4 Model B. Datasheet.

[20] Raspberry Pi Documentation (2024) Raspberry Pi OS. Quick-start user guide. Disponible en https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html, última visita 24 de abril de 2024.

[21] Canonical Ltd. (2024) Install Ubuntu on a Raspberry Pi. Quick-start user guide. Disponible en https://ubuntu.com/download/raspberry-pi, última visita 24 de abril de 2024.

[22] LattePanda Team (2024) LattePanda Documentation. Datasheet.

[23] LattePanda Team (2024) LattePanda Documentation. Operating Systems - Ubuntu.

[24] SECO S.p.A. (2024) Discover Udoo Vision. Datasheet.

[25] ForeCR (2023) DSBOX-AGX. AGX Orin Industrial box PC. Datasheet.

[26] NVidia (2022) Jetson AGX Orin Series pin and function names guide. Application note.

[27] Western Digital (2021) SSD WD Red SN700 NVMe. Product information sheet.

[28] Teltonika (2023) RUTX11. Datasheet.

[29] Teltonika (2024) PR1KC028 Combo MIMO mobile/GNSS/WiFi roof SMA antenna. Product sheet.
[30] Axis (2021) Axis 90 W Midspan AC/DC Datasheet.
[31] Phoenix Contact (2020) QUINT4-PS/1AC/24DC/10 Power supply unit.
[32] Phoenix Contact (2018) QUINT4-UPS/24DC/24DC/10 Uninterruptible power supply.
[33] Phoenix Contact (2023) UPS-BAT/PB/24DC/4AH Installation notes for electrically skilled persons.
[34] Rittal (2020) Compact Enclosures AX Technical details.
[35] Rittal (2021) AX compact enclosures, sheet steel. Assembly and operating instructions.
[36] Rittal (2012) Technical system catalogue climate control.
[37] Rittal (2014) Enclosure heater 3105.XXX. Assembly and operating instructions.
[38] Rittal (2014) Enclosure thermostat SK 3110.000. Assembly instructions.
[39] Rittal (2019) Fan-and-filter unit 3237.xxx 3238.xxx 3239.xxx 3240.xxx 3241.xxx 3243.xxx 3244.xxx 3245.xxxx. Assembly and operating instructions.
[40] Rittal (2015) Speed control 3120.200. Assembly and operating instructions.
[41] Rittal (2024) Door retainer AX 2519.020. Info sheet.
[42] Rittal (2021) LED system light SZ 2500.100 SZ 2500.104 SZ 2500.110 SZ 2500.114. Assembly and operating instructions.
[43] Rittal (2024) Door switch for LED system light SZ 4127.010 2500.460 2500.470 4315.810 4315.820 5050.510. Instructions.
[44] Rittal (2023) AX rail for interior installation 2394.210 2394.250 2394.30 2394.350 2394.400 AX base configuration rail 2394.100. Assembly instructions.
[45] Rittal (2014) System accessories Interior installation. Mounting plates. Mounting bracket. Mounting plate TS. Technical details.
[46] Hager (2021) ADS917D RCBO 1P+N 6kA 127V B-16A 30mA A Class QC&QB. Product datasheet.
[47] Legrand (2024) Repartidor modular de barras escalonadas - 2 Polos - 100A - 6 salidas - 4 módulos. Ficha de producto
[48] Eriflex (2018) UD80A. Instruction Sheet.
[49] Wago (2024) Ficha de alimentación; para montaje atornillado y sobre carril; para conector tipo F, CEE 7/4. Ficha de datos.
[50] Kaise (2020) KBLI24500 24V 50Ah. Datasheet.
[51] Upower (2024) LiFePO4 Batería de Litio Recargable. Serie UE-H 24Li29000WH Litio-Ferrofosfato. Hoja de especificaciones.
[52] Tensite (2024) EM550-PH Panel solar. Hoja de especificaciones.
[53] Victron Energy (2024) Controladores de carga SmartSolar MPPT 100/30 & 100/50. Hoja de especificaciones.
[54] Victron Energy (2024) Controladores de carga SmartSolar MPPT 100/30 & 100/50. Hoja de especificaciones.
[55] Canonical Ltd. (2018) Ubuntu releases. Ubuntu 20.04.6 LTS (Focal Fossa). Disponible en https://releases.ubuntu.com/focal/, última visita el 24 de abril de 2024.
[56] NVIDIA (2024) NVIDIA – Jet Pack Documentation. Disponible en https://docs.nvidia.com/jetson/archives/jetpack-archived/jetpack-513/, última visita el 24 de abril de 2024.
[57] ForeCr (2023) JetPack-5.x Installation for DSBOARD-AGX. Disponible en https://www.forecr.io/blogs/installation/jetpack-5-x-installation-for-dsboard-agx, última visita el 24 de abril de 2024.

[58] Axis (2024) Vapix Library. Developer Community. Disponible en https://www.axis.com/developer-community/vapix-library, último acceso el 24 de abril de 2024.

[59] IGN (2024) Visor de Ortofotos y Cartografía Iberpix. Disponible en https://www.ign.es/iberpix/visor/, último acceso el 24 de abril de 2024.

[60] GREFA – Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóxctona y su Hábitat (2024) Centros de recuperación de fauna en España. Disponible en https://www.grefa.org/esta-en-tu-mano/centros-de-recuperacion-de-fauna-en-espana#CASTILLALEON, último acceso el 24 de abril de 2024.

[61] Silva-Labanda, L.M., Cobos-Torres, J.C.: Sistema de detección de aves mediante análisis de imágenes. Dominio de las Ciencias, 7(6), 1464–1484 (2021). https://doi.org/10.23857/dc.v7i6.2404

[62] Gómez-Gómez, J., Vidaña-Vila, E., Sevillano, X.: Western Mediterranean Wetland Birds dataset: A new annotated dataset for acoustic bird species classification. Ecological Informatics, 75, 102014 (2023). https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102014.

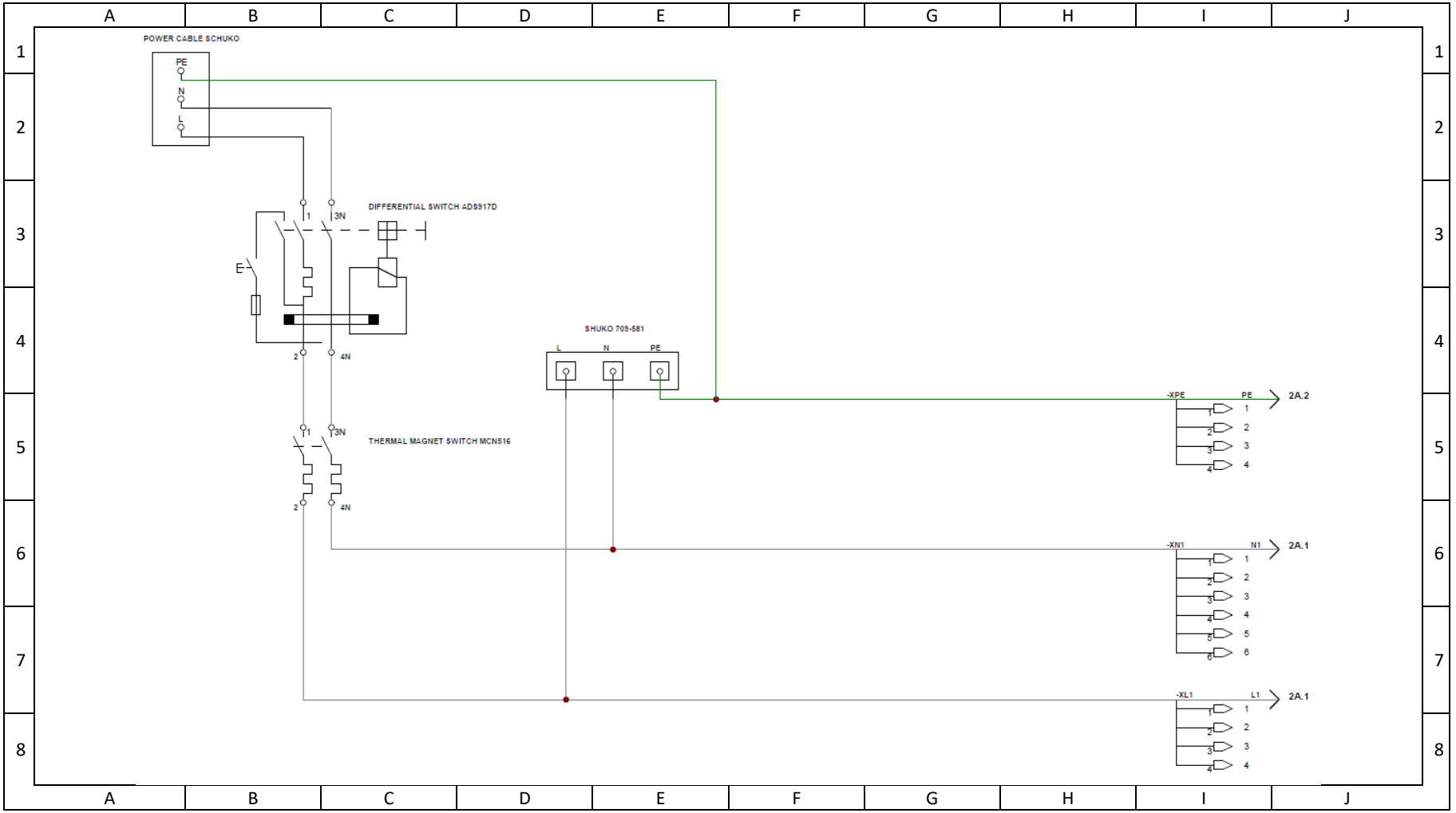
[63] Yi, X., Qian, C., Wu, P., Maponde, B.T., Jiang, T., Ge, W.: Research on Fine-Grained Image Recognition of Birds Based on Improved YOLOv5. Sensors. 23(19), 8204 (2023). https://doi.org//10.3390/s23198204.

[64] Chaurasia, D., Patro, B.D.K.: Real-time Detection of Birds for Farm Surveillance Using YOLOv7 and SAHI. In: 2023 3rd International Conference on Computing and Information Technology (ICCIT), pp. 442–450. IEEE, Tabuk, Saudi Arabia, (2023). https://doi.org/10.1109/ICCIT58132.2023.10273929.

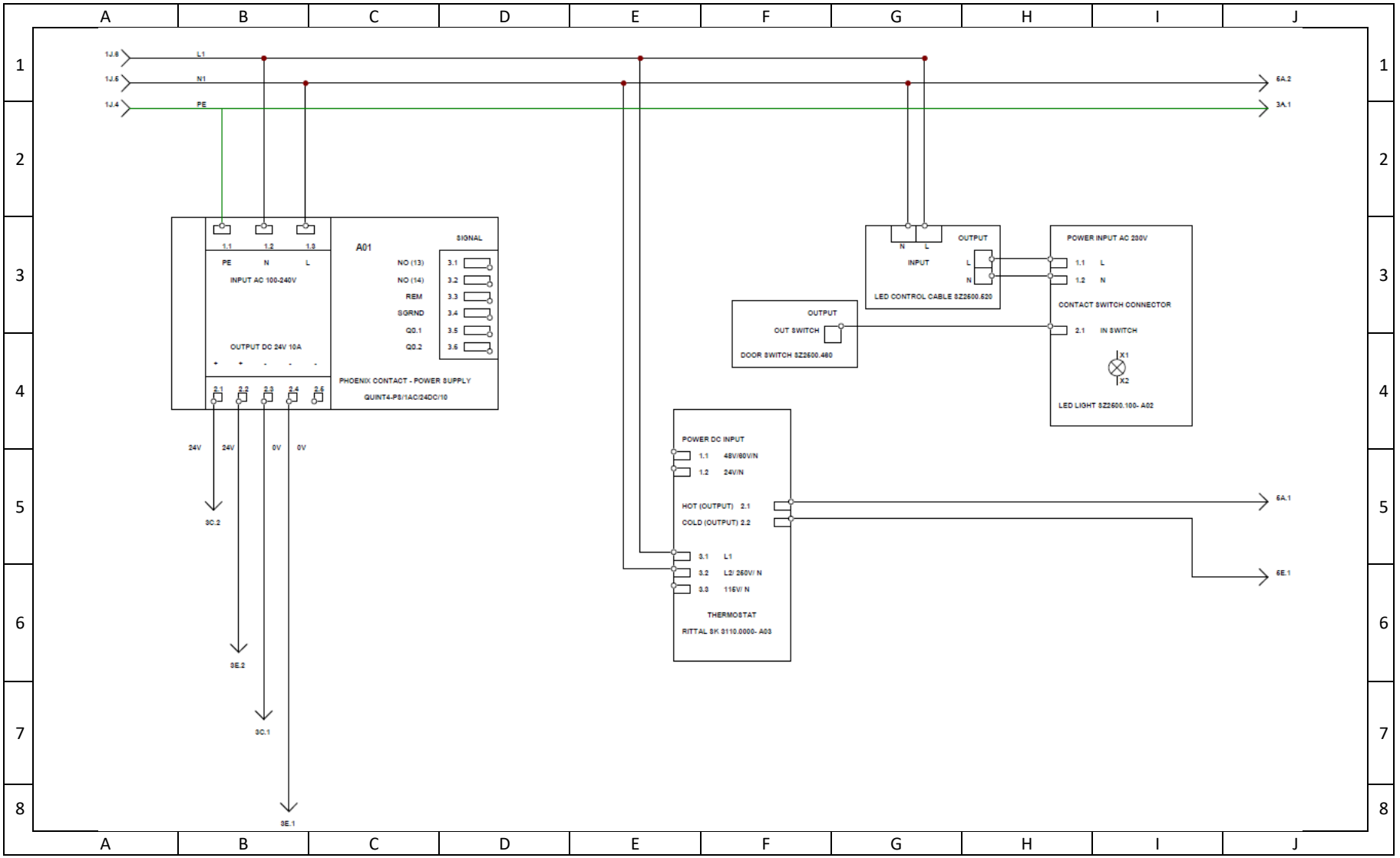
[65] Ramashini, M., Abas, P.E., Mohanchandra, K., De Silva, L.C.: Robust cepstral feature for bird sound classification. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 12(2), 1477–1487 (2022). https://doi.org/10.11591/ijece.v12i2.pp1477-1487.

[66] Han, X., Peng,J.: Bird sound classification based on ECOC-SVM. Applied Acoustics, 204, 109245 (2023). https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109245.

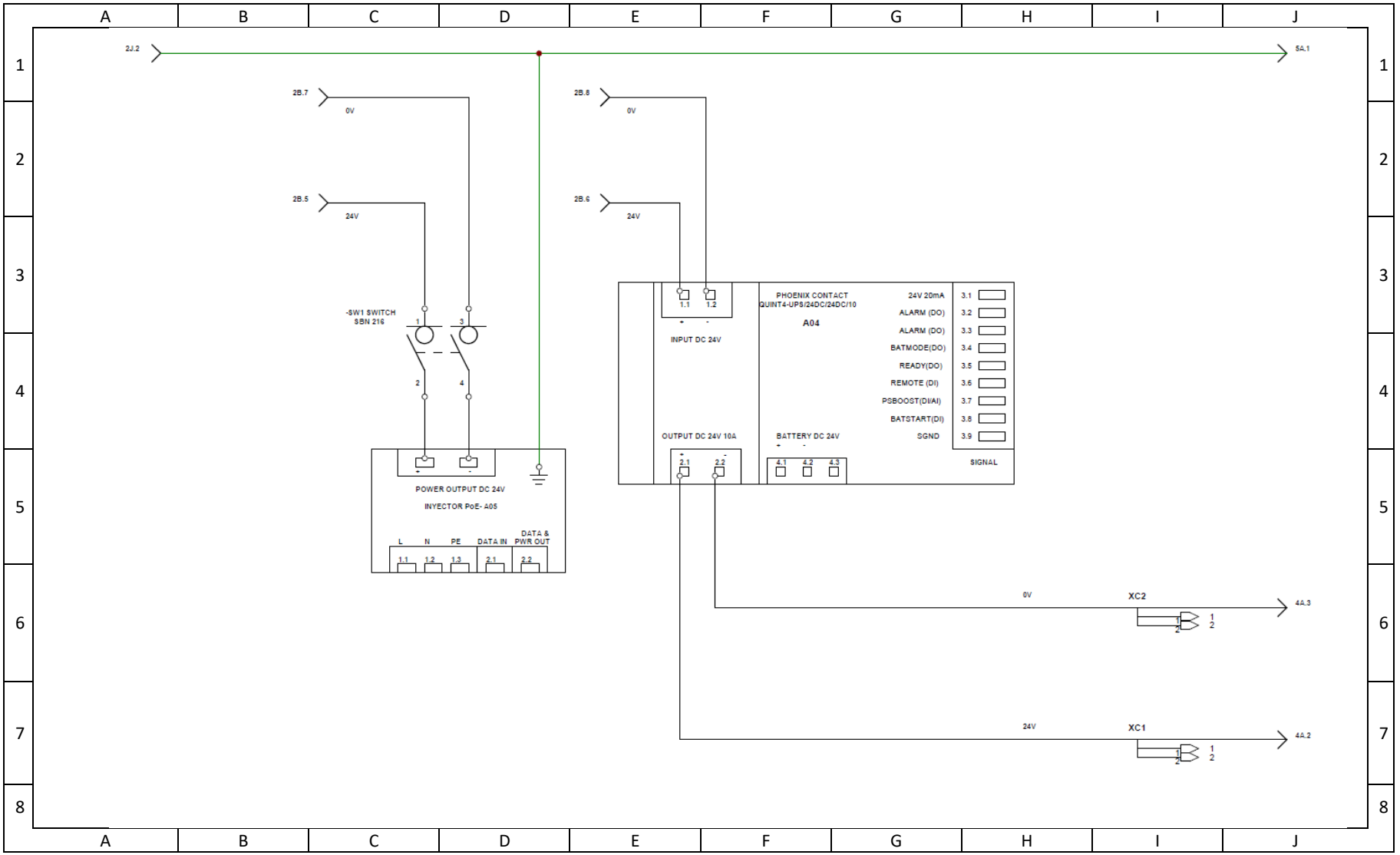
7 Anexo I. Planos esquemáticos del cuadro eléctrico



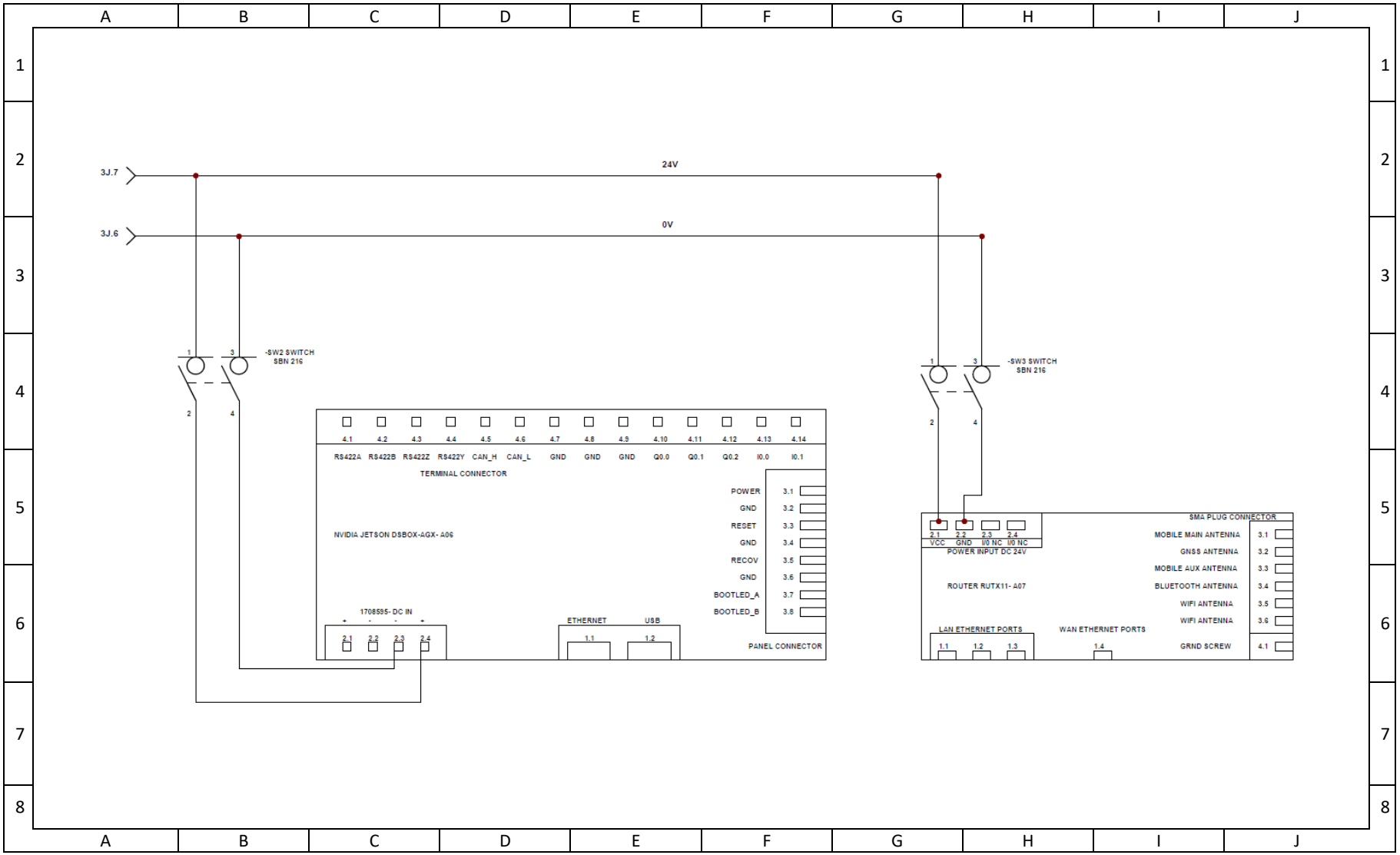
Esquemático IA4birds – página 1



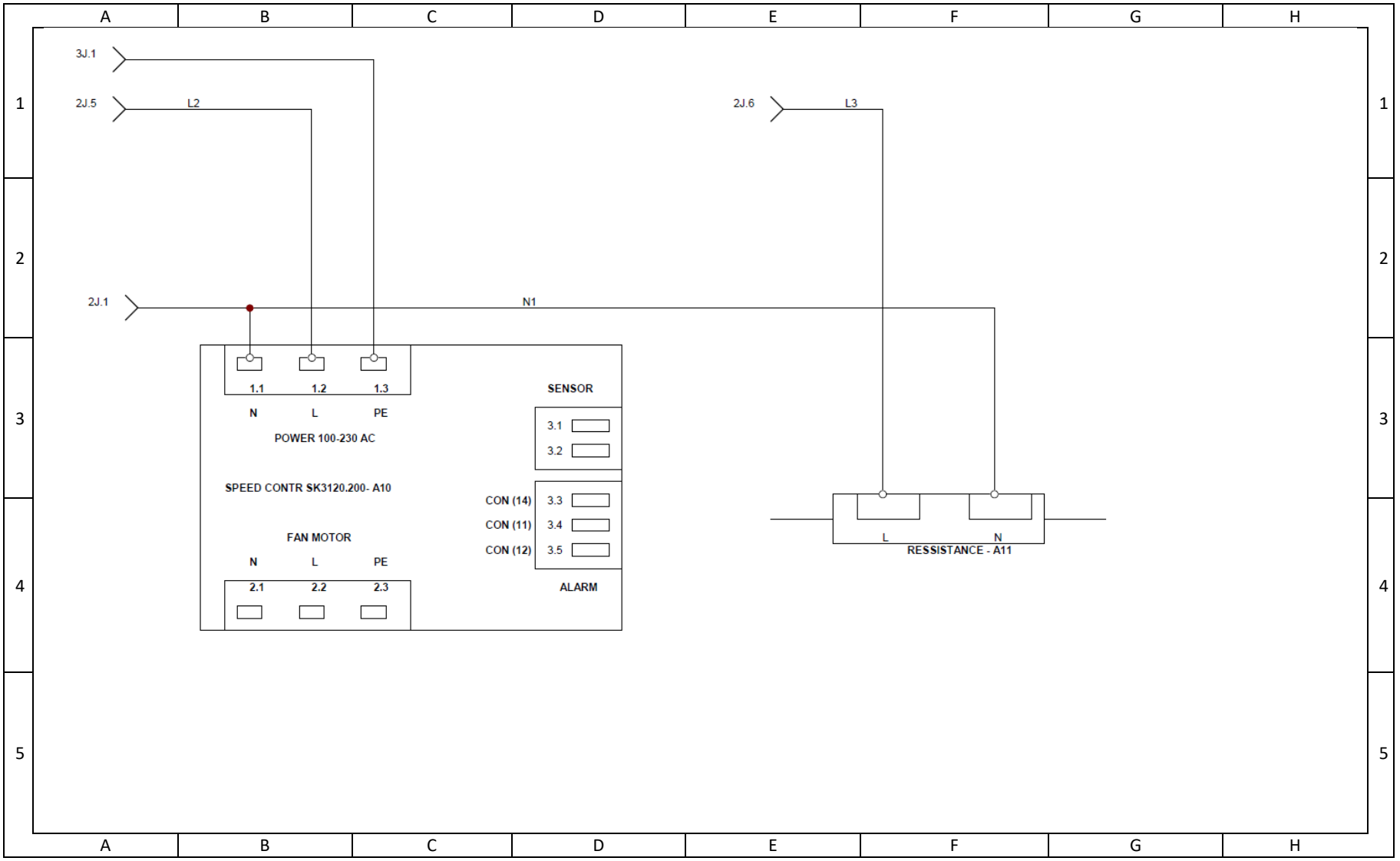
Esquemático IA4birds – página 2



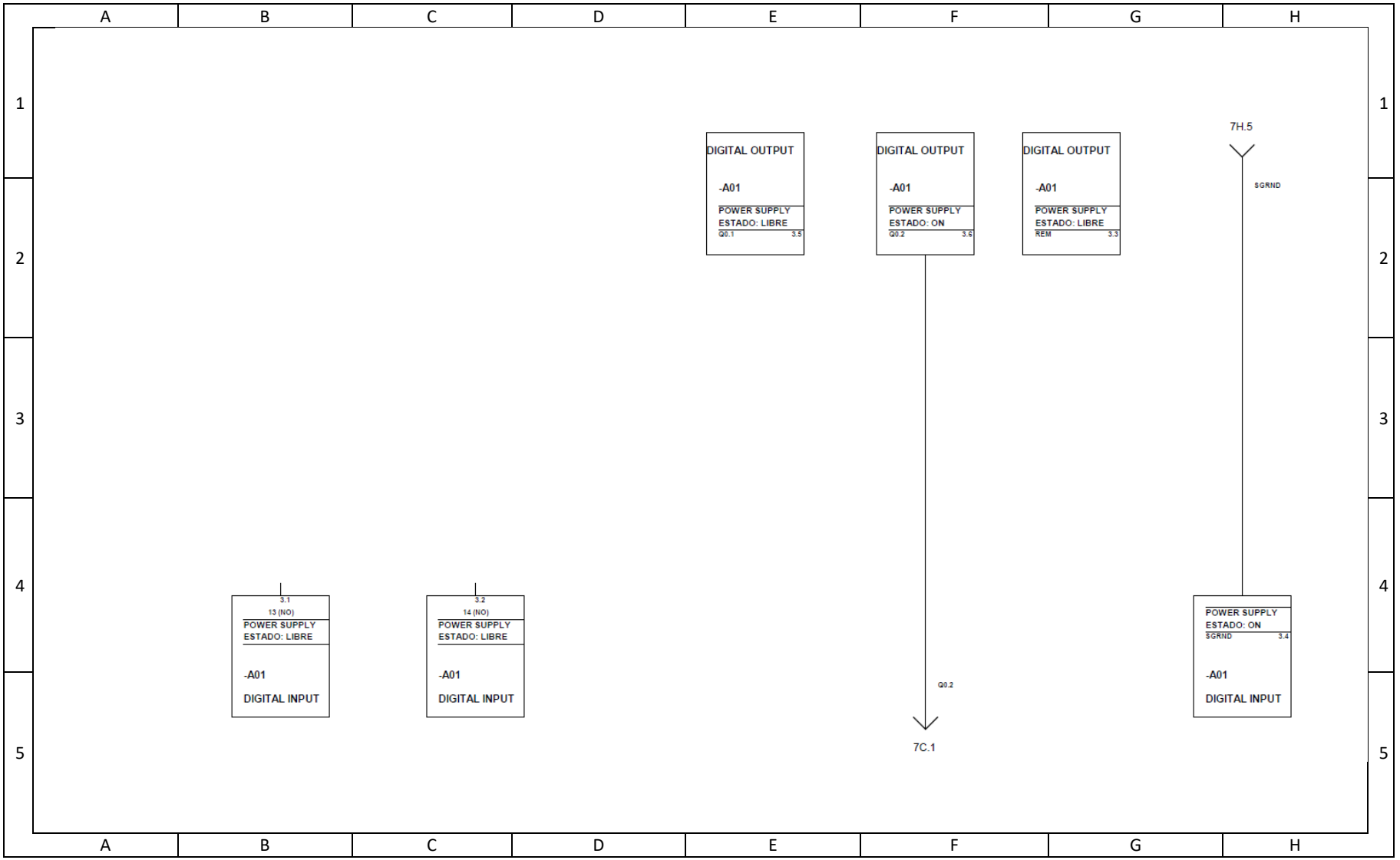
Esquemático IA4birds – página 3



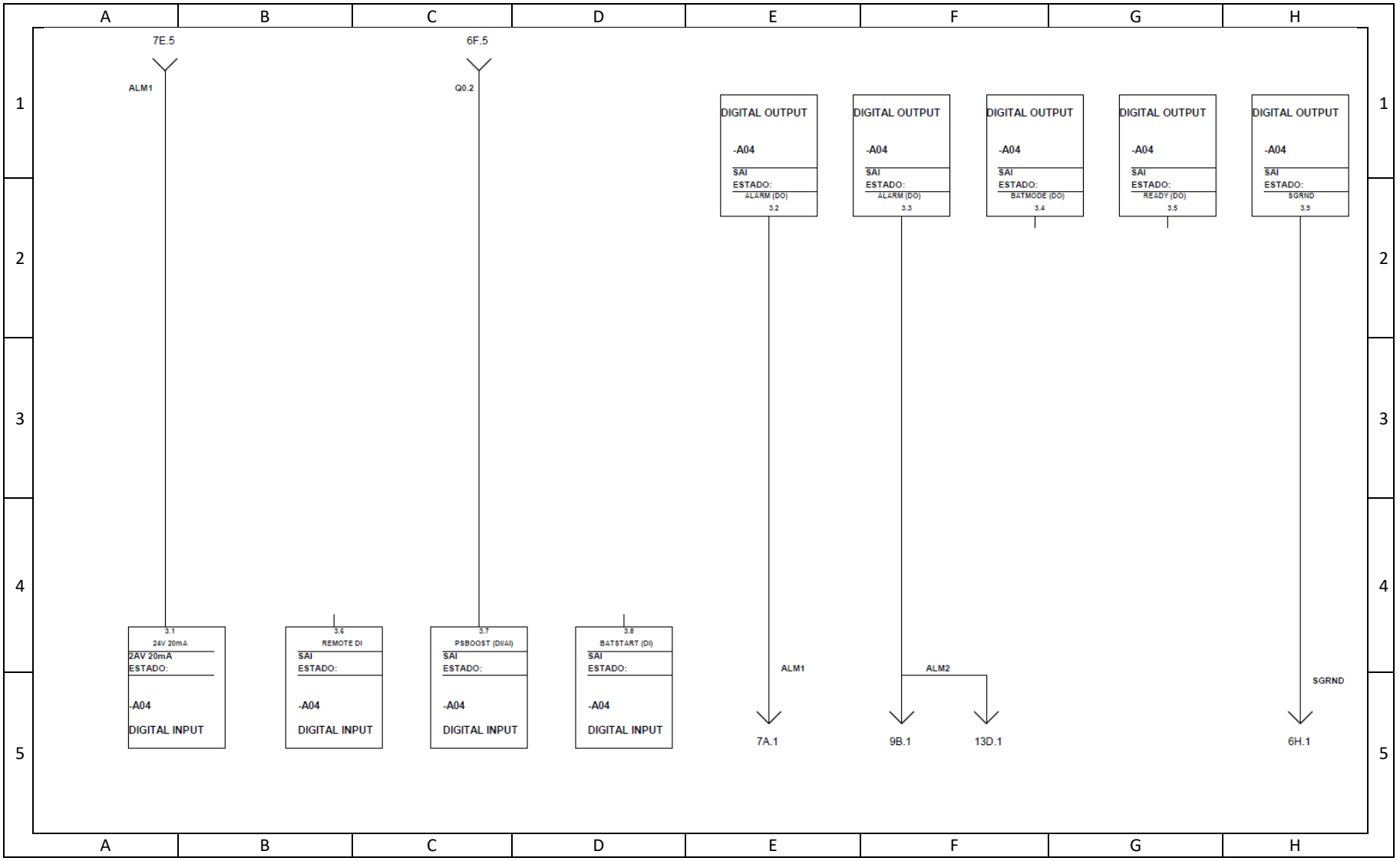
Esquemático IA4birds – página 4



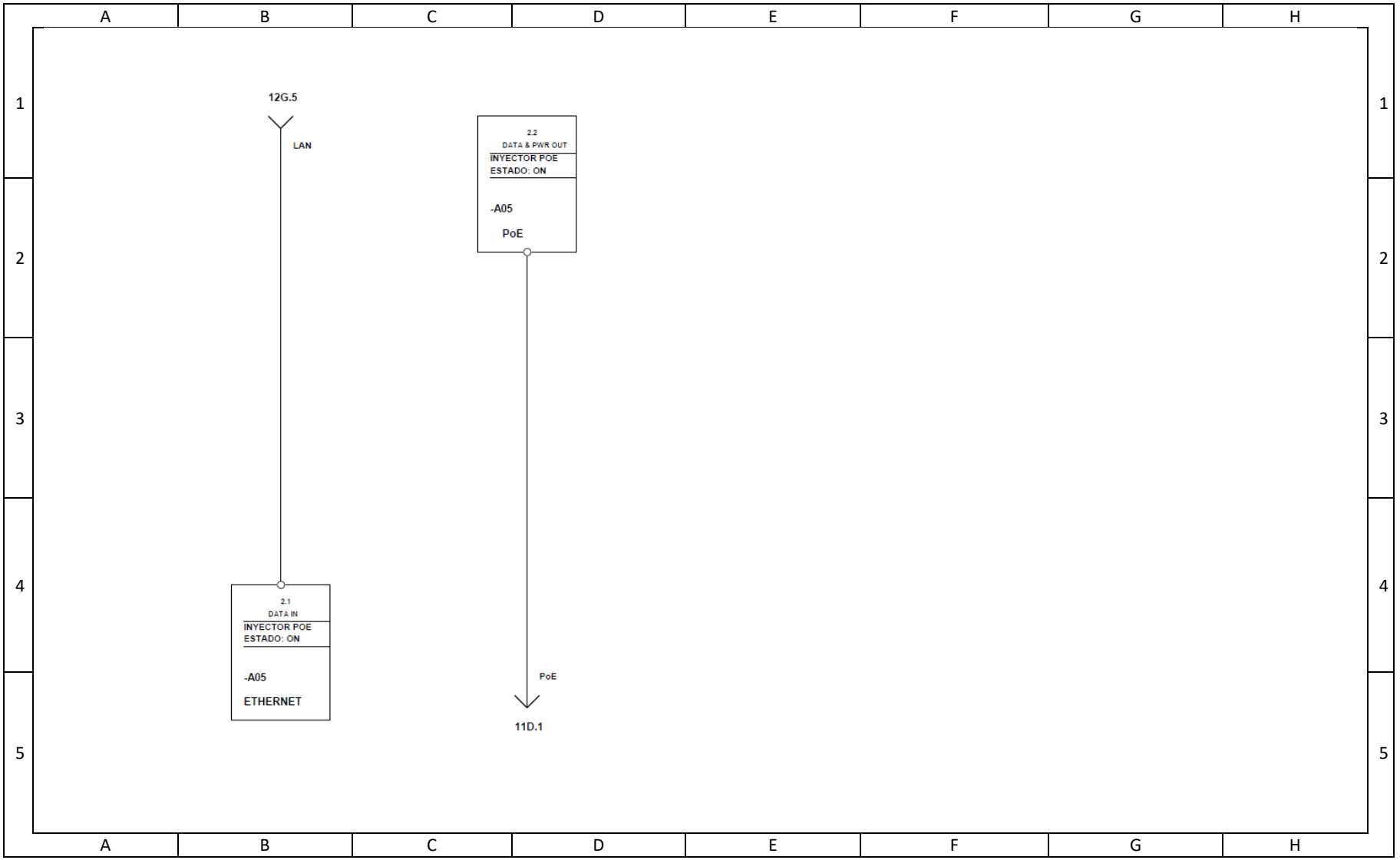
Esquemático IA4birds – página 5



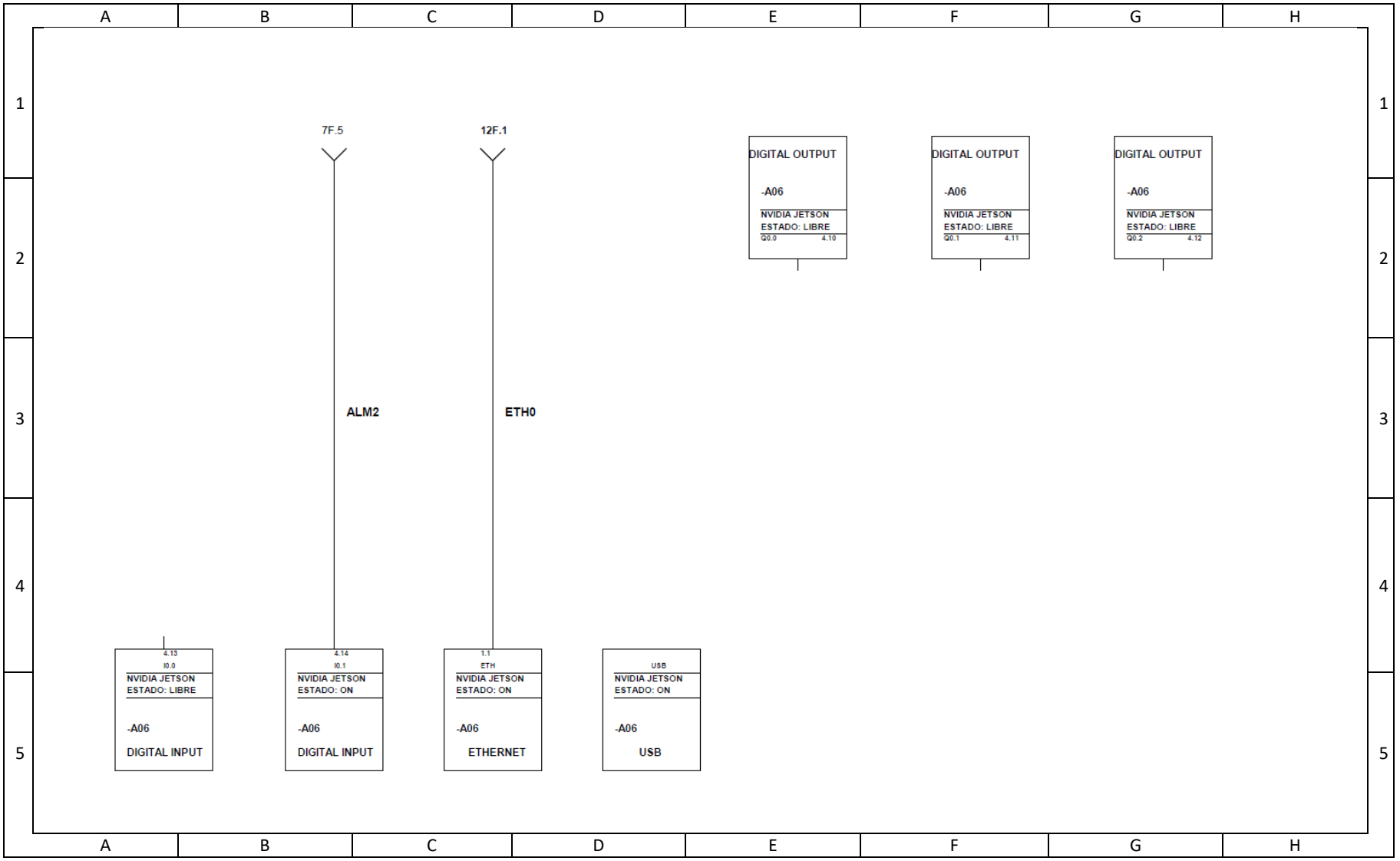
Esquemático IA4birds – página 6



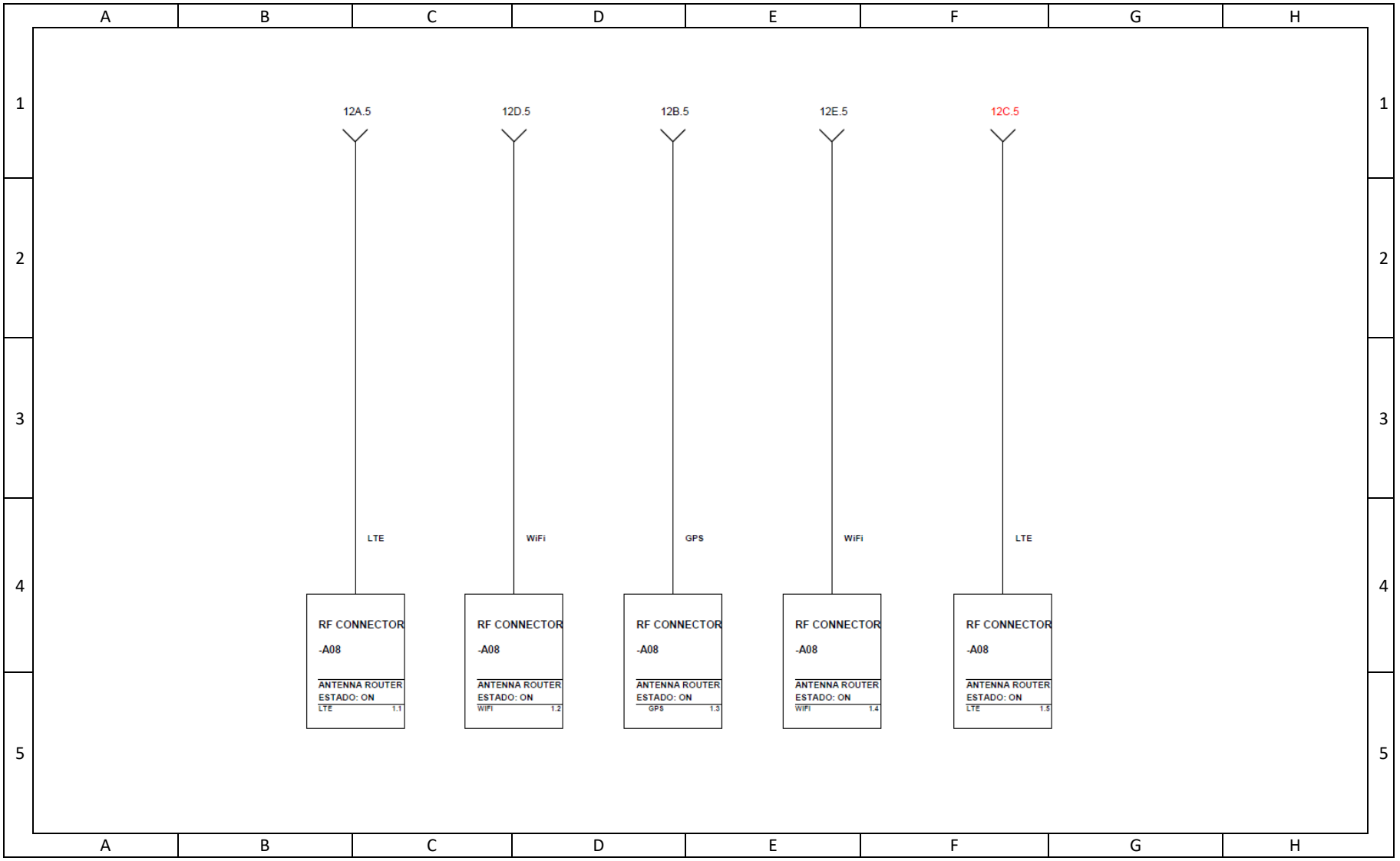
Esquemático IA4birds – página 7



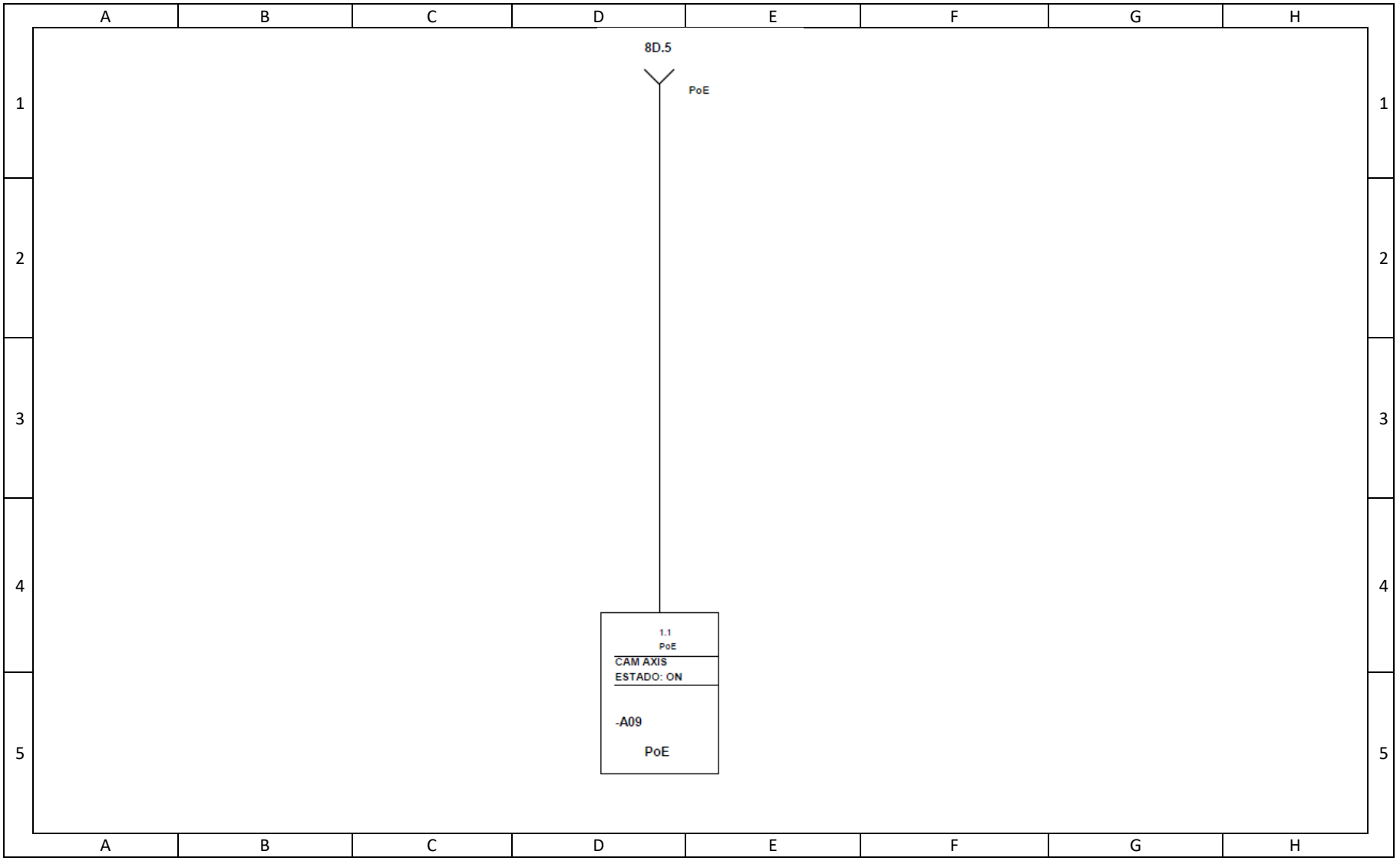
Esquemático IA4birds – página 8



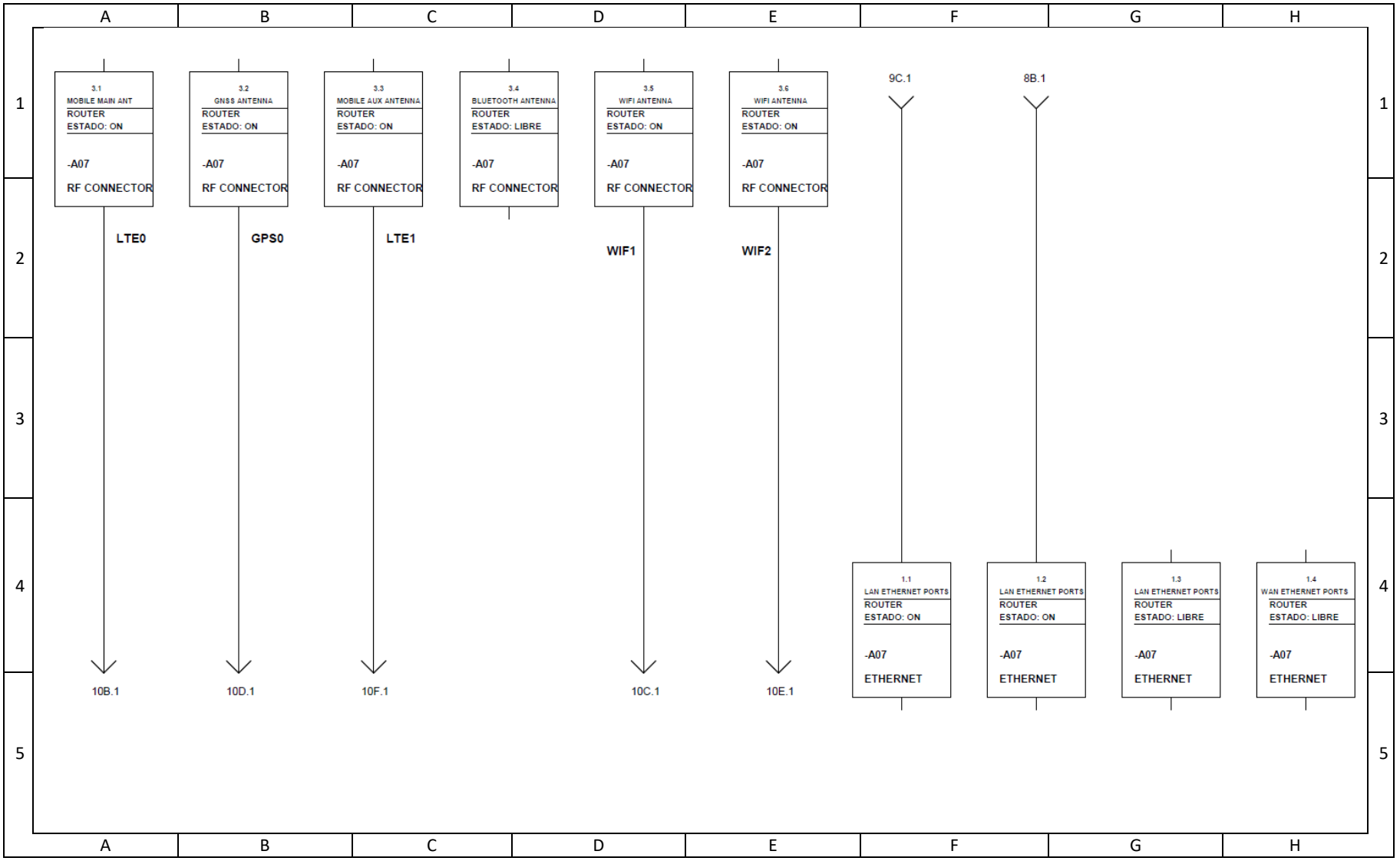
Esquemático IA4birds – página 9



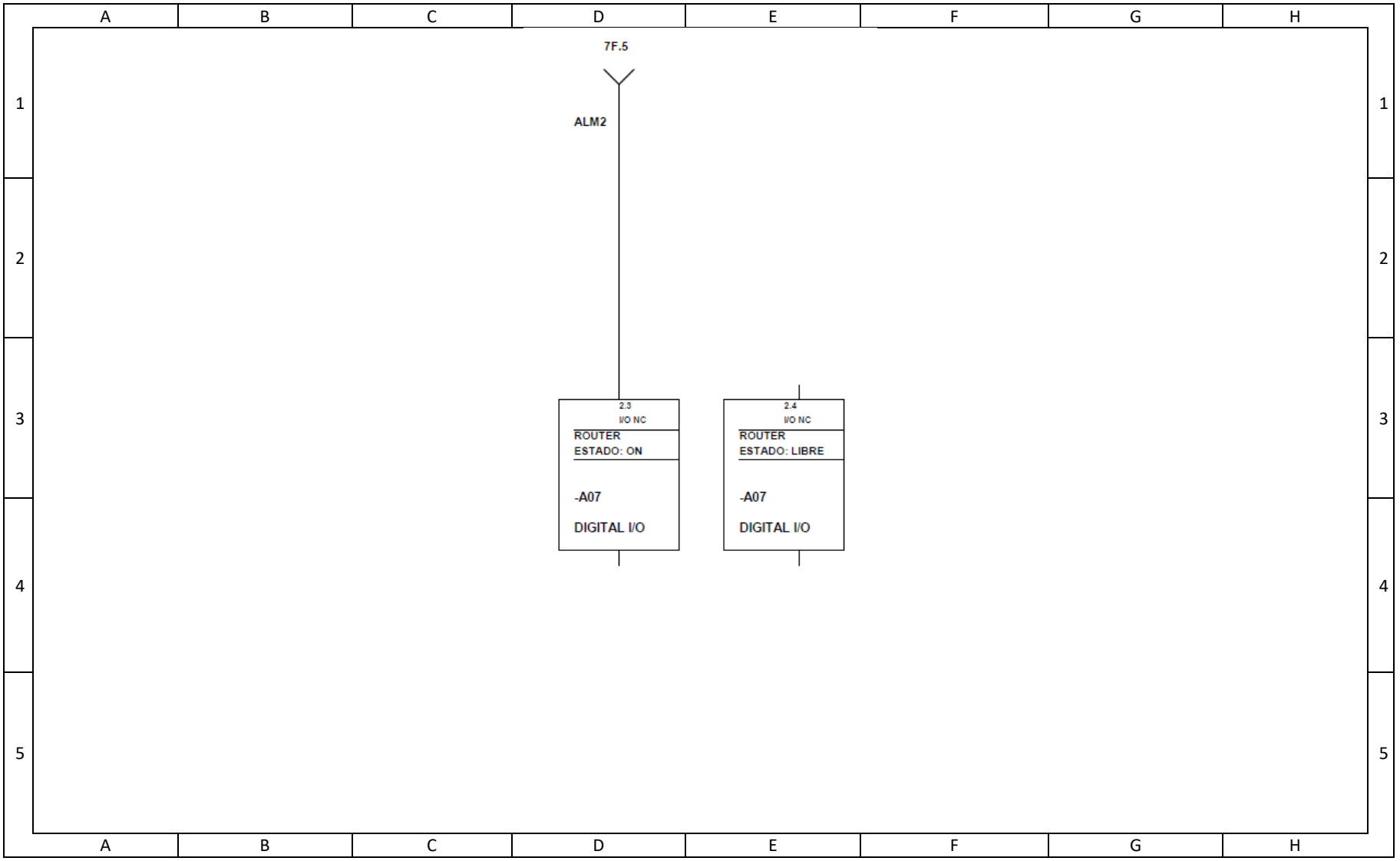
Esquemático IA4birds – página 10



Esquemático IA4birds – página 11



Esquemático IA4birds – página 12



Esquemático IA4birds – página 13