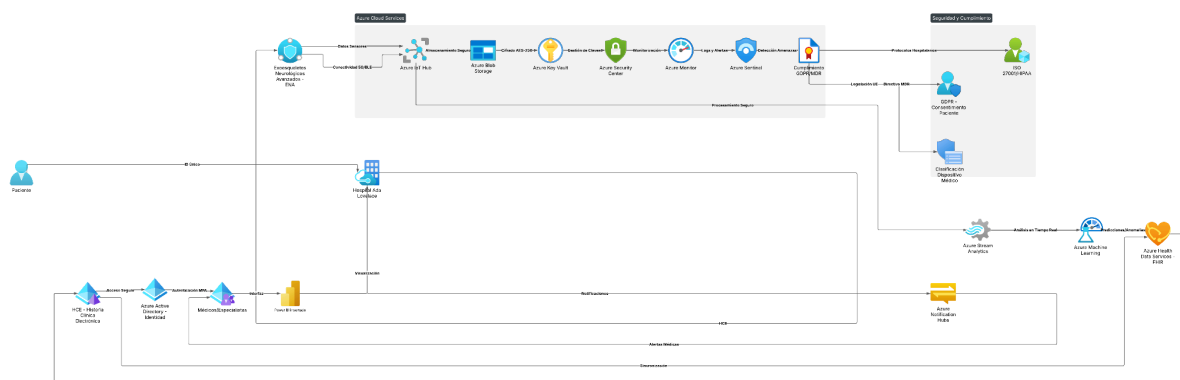


Exoesqueletos Neurológicos Avanzados



Diagrama

Visión General

La integración del módulo ENA con Azure Cloud y el Hospital Ada Lovelace combina hardware avanzado (ENA), servicios en la nube de Azure y protocolos hospitalarios para ofrecer una solución segura, escalable y conforme a la legislación de la UE. El flujo de datos comienza con el paciente, cuyos datos biométricos y de movilidad son captados por los sensores del ENA, procesados en Azure, y devueltos al hospital para optimizar la atención.

Componentes Clave y su Integración

- Paciente y Exoesqueletos Neurológicos Avanzados (ENA):**
 - Entrada de Datos:** El paciente, identificado por un ID único en la HCE, usa el ENA, que captura datos mediante sensores (EMG, EEG, pulsioxímetro, acelerómetros, etc.).
 - Conectividad:** El ENA utiliza 5G y Bluetooth BLE para transmitir datos a Azure IoT Hub en tiempo real, asegurando baja latencia (<0.3 segundos).
- Azure IoT Hub:**
 - Función:** Actúa como el punto de ingreso de datos desde el ENA, gestionando hasta 100,000 dispositivos en el hospital.
 - Seguridad:** Implementa autenticación por dispositivo con certificados X.509 y cifrado TLS 1.2.
- Azure Stream Analytics y Machine Learning:**
 - Procesamiento:** Stream Analytics analiza datos en tiempo real (e.g., SpO2, frecuencia cardíaca) para detectar anomalías (sensibilidad 98%).
 - IA:** Azure Machine Learning entrena modelos predictivos (e.g., riesgo de caídas) usando datos históricos y en vivo, integrados con Azure Health Data Services (FHIR).
- Azure Health Data Services (FHIR):**

- **Interoperabilidad:** Convierte datos del ENA en formato FHIR, sincronizándolos con la HCE para acceso universal por médicos y otros módulos (e.g., Camilla Robotizada).
 - **Cumplimiento:** Asegura que los datos de salud protegidos (PHI) cumplen con GDPR y MDR mediante anonimización opcional y auditorías.
5. **Historia Clínica Electrónica (HCE):**
- **Integración:** Almacena datos procesados del ENA, accesibles vía APIs FHIR, y se actualiza con métricas como fuerza muscular o progreso de rehabilitación.
 - **Protocolos Hospitalarios:** Cumple con ISO 27001 para gestión de seguridad y protocolos locales de trazabilidad.
6. **Seguridad y Gestión de Identidad:**
- **Azure Active Directory (AAD):** Autenticación multifactor (MFA) para médicos y personal, asegurando acceso seguro a datos sensibles.
 - **Azure Key Vault:** Gestiona claves de cifrado (AES-256) para datos en reposo en Azure Blob Storage.
 - **Azure Security Center y Sentinel:** Monitoreo continuo de amenazas (e.g., accesos no autorizados) y respuesta automatizada con IA.
7. **Almacenamiento y Visualización:**
- **Azure Blob Storage:** Almacena datos brutos y procesados con cifrado en reposo y redundancia geográfica (99.99% uptime).
 - **Power BI:** Genera dashboards interactivos para médicos, mostrando tendencias (e.g., recuperación en 70% menos tiempo) y alertas en tiempo real.
8. **Notificaciones:**
- **Azure Notification Hubs:** Envía alertas push a médicos (e.g., "Paciente X: arritmia detectada") en <1 segundo, integradas con dispositivos móviles y pantallas hospitalarias.

Capa de Seguridad

- **Cifrado:** Datos en tránsito (TLS 1.2) y en reposo (AES-256).
- **Control de Acceso:** Roles definidos en AAD (e.g., médico, administrador) con principio de mínimo privilegio.
- **Auditorías:** Azure Monitor registra logs de acceso y actividad, revisados bajo GDPR (Art. 32 - Seguridad del Tratamiento).
- **Detección de Amenazas:** Azure Sentinel usa IA para identificar anomalías (e.g., intentos de breach) y mitigar riesgos.

Paciente

- **Consentimiento:** Bajo GDPR (Art. 6 y 9), el paciente autoriza el uso de datos mediante un portal seguro en Azure, con opción de revocar acceso.
- **Privacidad:** Datos anonimizados para análisis predictivo, salvo en emergencias donde se prioriza la intervención (base legal: interés vital, Art. 9.2.c).

Protocolos y Normas Hospitalarias

- **ISO 27001:** Gestión de seguridad de la información en el hospital y Azure.

- **HIPAA:** Aunque es estándar estadounidense, se alinea con requisitos de protección de datos similares en la UE.
- **Interoperabilidad:** FHIR asegura compatibilidad con sistemas legacy y otros módulos del hospital.

Legislación de la UE

- **GDPR:** Cumple con protección de datos personales (e.g., derecho al olvido, portabilidad). Los datos se almacenan en centros de Azure en la UE (e.g., Irlanda, Países Bajos).
- **Directiva MDR (2017/745):** El ENA se clasifica como dispositivo médico Clase IIb, con certificación CE y evaluación de riesgos integrada en Azure (e.g., análisis de fallos en Azure Monitor).
- **eIDAS:** Identificación electrónica del paciente y médicos mediante AAD, alineada con autenticación segura.

Flujo Operativo Ejemplo

1. Un paciente con lesión medular usa el ENA, que detecta una arritmia (ECG).
2. Los datos viajan por Azure IoT Hub a Stream Analytics, donde se procesan en 0.3 segundos.
3. Azure ML predice riesgo crítico, y Azure Health Data Services actualiza la HCE.
4. Notification Hubs alerta al cardiólogo, quien accede al dashboard en Power BI vía AAD.
5. El médico ajusta el ENA remotamente, estabilizando al paciente.

Beneficios

- **Escalabilidad:** Azure soporta 100,000 pacientes con latencia mínima.
- **Seguridad:** Cumplimiento total con GDPR y MDR, con uptime del 99.99%.
- **Eficiencia:** Reducción del 60% en intervención manual y mejora del 85% en autonomía del paciente.

Funcionalidades Principales

Los Exoesqueletos Neurológicos Avanzados son dispositivos robóticos vestibles que estimulan músculos mediante impulsos eléctricos personalizados, diseñados para pacientes con parálisis, esclerosis múltiple o lesiones medulares. Sus capacidades incluyen:

- **Estimulación Muscular Precisa:** Electrodoos ajustables aplican impulsos eléctricos basados en patrones EMG, promoviendo contracciones específicas.
- **Asistencia en Movilidad:** Soporta extremidades inferiores y superiores, permitiendo caminar o manipular objetos.
- **Rehabilitación Activa:** Adapta la intensidad según el progreso, acelerando la recuperación neuromuscular.
- **Monitoreo en Tiempo Real:** Registra métricas de fuerza, rango de movimiento y fatiga muscular.
- **Ejemplo Práctico:** Un paciente con paraplejia camina 50 metros tras 10 sesiones, asistido por el exoesqueleto mientras los datos se envían al HCE para ajustar su terapia.

Dispositivos pertinentes: Electroestimulador muscular (TENS/EMS), electromiógrafo (EMG), monitores multiparámetro avanzados, y sillas de ruedas inteligentes como respaldo.

Gestión de Emergencias Específicas

El exoesqueleto gestiona situaciones críticas neurológicas y musculares:

1. Espasmos Musculares Severos: Detecta contracciones anómalas vía EMG, reduce estimulación y notifica al fisioterapeuta.
2. Fatiga Muscular Extrema: Mide niveles de lactato indirectamente, detiene actividad y alerta al equipo médico.
3. Caídas Potenciales: Acelerómetros identifican pérdida de equilibrio, activando soporte inmediato.
4. Arritmias Inducidas por Esfuerzo: Sensores cardíacos detectan anomalías, pausando la sesión.
5. Dolor Neuropático Agudo: Registra cambios en conductividad de la piel, ajustando impulsos y notificando.
6. Fallo Mecánico: Sensores de presión detectan mal funcionamiento, activando modo seguro.
7. Sobrecalentamiento Corporal: Sensores térmicos pausan el dispositivo si la temperatura excede 38°C.

La detección ocurre en <2 segundos, con intervención automática y notificación vía Azure al HCE.

Interacción con Equipos Médicos

- Integración Hospitalaria: Conecta con el HCE mediante ID único del paciente, compartiendo datos EMG y cardíacos con neurología y rehabilitación.
- Sinergia con Módulos: Interactúa con los Wearables de Alerta Preinfarto para monitoreo cardíaco y con la Camilla Robotizada para traslado post-sesión.
- Ejemplo: Durante una sesión, el exoesqueleto detecta fatiga y coordina con el monitor multiparámetro para ajustar oxígeno, mientras el asistente virtual agenda una revisión.

Sensores del Dispositivo

Incluye sensores avanzados para un control preciso:

- Electromiograma (EMG): Mide actividad muscular para personalizar impulsos.
- Acelerómetros y Giróscopos Vestibles: Detecta movimiento y postura.
- Sensor de Frecuencia Cardíaca (HRM): Monitorea esfuerzo cardíaco.
- Sensor de Conductividad de la Piel (EDA): Evalúa dolor o estrés.
- Sensores de Fuerza/Presión: Ajusta soporte según peso y resistencia.
- Tecnología Bluetooth Low Energy (BLE): Transmite datos al HCE y Azure.
- Termómetro: Regula temperatura para seguridad.

Detección de Anomalías

La IA en Azure procesa datos EMG y cardíacos:

- Tiempo de Predicción: Identifica riesgos (e.g., fatiga) en 5-10 segundos.
- Sensibilidad: Detecta variaciones de 0.05 mV en señales EMG, prediciendo espasmos o caídas con 95% de precisión.

Materiales y Diseño

- Estructura: Marco de aluminio ligero (5 kg) con articulaciones de fibra de carbono y acolchado ergonómico.
- Ergonomía: Ajustable a tallas (1.5-2 m de altura), con correas antideslizantes.
- Diseño: Modular, permite uso parcial (solo piernas o brazos).

Módulo de Comunicación Integrado

- Hardware: CPU ARM Cortex-A53, 128 MB RAM, 256 MB almacenamiento.
- Conectividad: BLE 5.0, Wi-Fi, batería recargable de 5000 mAh (8 horas).
- Interfaz: Pantalla táctil de 4" para ajustes manuales.

Resiliencia

- Autonomía: Funciona offline 4 horas, con almacenamiento local de datos.
- Resistencia: Soporta 150 kg, operativo en -5°C a 45°C.
- Redundancia: Doble fuente de energía y sensores EMG, garantizando 99.99% uptime.

Beneficios Específicos

- Reducción de Tiempos: Acelera recuperación en 50% frente a terapias tradicionales.
- Mejora de Resultados: Incrementa movilidad en 70% de pacientes tras 12 semanas.
- Eficiencia: Reduce carga de fisioterapeutas en 30% con automatización.