



Review de Sensores en la Seguridad Industrial

Sensors in Industrial Safety Review

Sensores em Revisão de Segurança Industrial

John Germán Vera Luzuriaga ^I
john.vera@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6621-5368>

Vicente Efraín Gavidia Quirola ^{III}
vicentegav17@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9064-4245>

Jessica Jacqueline Romero Erreyes ^{II}
yekaerreyes@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2738-0379>

Patricio Alexander Santillan Ortiz ^{IV}
desmo199811@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3377-1111>

Correspondencia: john.vera@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 * **Aceptado:** 12 de junio de 2022 * **Publicado:** 20 de julio de 2022

- I. Ingeniero en Electrónica, Control y Redes Industriales, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Estudiante, Investigador independiente, Ecuador.
- III. Estudiante, Investigador independiente, Ecuador.
- IV. Estudiante, Investigador independiente, Ecuador.

Resumen

El propósito de este artículo está enfocado en sistematizar el conocimiento en el campo de la seguridad, usando los sensores industriales para evaluar la relevancia de su aplicación en las diferentes industrias. La seguridad industrial es de vital importancia en las organizaciones, debido al uso diario de: herramientas, máquinas y equipos, creando un entorno de trabajo donde se evalúan riesgos y se identifican peligros a los cuales están expuestos, constantemente los trabajadores. Por tal motivo, las empresas dedicadas a la seguridad laboral, consideran crucial el uso de componentes electrónicos como los sensores que funcionan al igual que dispositivos de alerta con el fin de prevenir accidentes ocupacionales a corto, mediano o largo plazo. Es por eso por lo que, se discute sobre los tipos de sensores, aplicaciones en las que intervienen, ámbitos y costos que conllevan su implementación. En este contexto, el documento aborda un análisis exhaustivo de los sensores en la seguridad aplicados en el ámbito laboral para generar un entorno de salud y bienestar en el trabajo. Finalmente, se analiza los principales desafíos que se deben plantear para permitir y respaldar el uso de dispositivos en la seguridad laboral industrial.

Palabras Clave: red de sensores inalámbricos; seguridad de la información; IOT; SCADA; protocolo de enrutamiento; redes de control industriales; tecnologías de seguridad.

Abstract

The purpose of this article is focused on systematizing knowledge in the field of security, using industrial sensors to evaluate the relevance of their application in different industries. Industrial safety is of vital importance in organizations, due to the daily use of: tools, machines and equipment, creating a work environment where risks are evaluated and hazards to which workers are constantly exposed are identified. For this reason, companies dedicated to occupational safety consider it crucial to use electronic components such as sensors that work as well as warning devices in order to prevent occupational accidents in the short, medium or long term. That is why the types of sensors, applications in which they are involved, areas and costs involved in their implementation are discussed. In this context, the document deals with an exhaustive analysis of safety sensors applied in the workplace to generate an environment of health and well-being at work. Finally, the main challenges that must be raised to allow and support the use of devices in industrial occupational safety are analyzed.

Keywords: wireless sensor network; security of the information; IoT; SCADA; routing protocol; industrial control networks; security technologies.

Resumo

O objetivo deste artigo está focado em sistematizar o conhecimento na área de segurança, utilizando sensores industriais para avaliar a relevância de sua aplicação em diferentes indústrias. A segurança industrial é de vital importância nas organizações, devido ao uso diário de ferramentas, máquinas e equipamentos, criando um ambiente de trabalho onde são avaliados os riscos e identificados os perigos aos quais os trabalhadores estão constantemente expostos. Por esta razão, as empresas dedicadas à segurança do trabalho consideram fundamental a utilização de componentes eletrônicos como sensores que funcionam bem como dispositivos de alerta para prevenir acidentes de trabalho a curto, médio ou longo prazo. Por isso são discutidos os tipos de sensores, aplicações em que estão envolvidos, áreas e custos envolvidos na sua implementação. Nesse contexto, o documento trata de uma análise exaustiva dos sensores de segurança aplicados no ambiente de trabalho para gerar um ambiente de saúde e bem-estar no trabalho. Por fim, são analisados os principais desafios que devem ser levantados para permitir e apoiar o uso de dispositivos na segurança do trabalho industrial.

Palavras-chave: rede de sensores sem fio; segurança das informações; IoT; SCADA; protocolo de roteamento; redes de controle industrial; tecnologias de segurança.

Introducción

El avance tecnológico y científico ha impulsado al desarrollo de sistemas que mejoren la calidad de vida de las personas. Hoy por hoy, garantizar la seguridad en el trabajo se considera una de las principales prioridades en las diferentes industrias. Laceraciones, enfermedades y muertes en el lugar de trabajo a menudo implican disminución financiera y de producción, lo cual afecta directamente a la empresa.

La importancia de los sensores es decisiva debido a sus atractivos servicios y beneficios que ofrece, tales como: facilidad, confiabilidad y ahorro de costos. Los sensores industriales son muy importantes debido a su gran amplitud en los diferentes entornos y enfoques ya que ofrecen una gran seguridad que ayuda a gestionar de forma automática los diferentes procesos en que existen

en las organizaciones industriales. El uso de sensores se clasifica dependiendo de su empleo, es decir, de la variable que va a medir, se utilizan sistemas de medición, instrumentos con múltiples sensores interconectados, conocidos como redes de sensores, los cuales integran avances en tecnología electrónica, de comunicación y de computación.

Es por ello que, con este artículo se busca mejorar la seguridad mediante el uso de tecnologías de manera que prevea cualquier tipo de peligro que vaya a situarse dentro de la organización, donde se beneficien tanto el operario como las industrias, ya que muchas de las veces por no contar con un sistema de seguridad automatizado hay pérdidas humanas, lo que conlleva a que la organización tenga que pagar una indemnización al afectado además de que pierde credibilidad y como consecuencia, hace que la competencia triunfe en el mercado.

- Desarrollo

Sensor Industrial

Un sensor se describe como un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, a estas variables se les llama *variables de instrumentación* debido a que son transformadas en señales eléctricas. Las variables de instrumentación vienen siendo humedad, PH (potencial de hidrógeno), temperatura, presión, aceleración, etc.

Un sensor se divide en dos tipos:

- Analógico:
 - Como salida, emite una señal comprendida por un rango de valores que varían respecto al tiempo.
- Digital:
 - Se divide en sensores de proximidad y sensores de contacto.
 - Tienen dos estados: 0 y 1.

Los sensores pueden ser independientes o integrados en objetos comunes o en mecanismos para hacerlos inteligentes.

Los mismos que encuentran su aplicación en todo tipo de uso del IoT en los que se realiza un monitoreo de las condiciones térmicas del aire, el trabajo ambiental, máquinas u otros objetos [1].

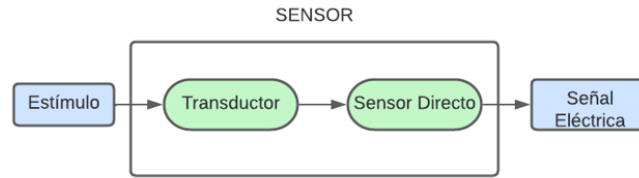


Figura 1. Diagrama de un sensor con señales de entrada y salida.

Fuente: Elaboración propia.

Los campos industriales establecidos como los más peligrosos son la agricultura, la construcción, el transporte, la fabricación y el comercio, en la mayoría de los sectores, como la minería, la extracción de petróleo entre otros la seguridad juega un papel predominante.

Trascendencia de los sensores en la Industria 4.0

En la Industria 4.0, los sensores son de gran ayuda ya que contribuyen a capturar y analizar datos para la toma de decisiones y la auto-optimización de procesos que lleva a la auto-mejora. Debido a que la industria de la cadena de suministro requiere y depende de soluciones y tecnologías de monitoreo para los activos EGN, las líneas de suministro optimizadas, se encaminan hacia una gran demanda de sensores. Al cambiar la industria con la utilizando de sensores en los procesos como técnica de gestión, se está cooperando al monitoreo del avance y condiciones [2].

Capacidades de los sensores para la Industria 4.0

Los sensores industriales son de vital importancia para aprovechar la inteligencia de los distintos softwares. Aunque hacen que el proceso sea más complicado, los sensores garantizan un seguimiento adecuado en los diferentes procesos [3].

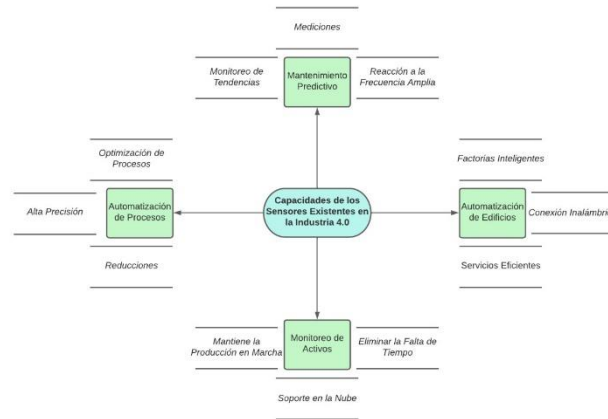


Figura 2. Capacidades de los sensores para la industria 4.0.

Fuente: Elaboración propia.

Existen algunos métodos para calcular, controlar y automatizar sistemas que se basan en parámetros físicos para la medición de las entradas. En los robots, el cálculo de flujos y los sensores de temperatura son sustanciales para medir formas y espacios en el control de procesos. En breve, las industrias facilitan conocimiento cuantitativo y de calidad de los materiales con el uso de los sensores. Los sensores químicos abrirán una nueva era de control en la industria química y farmacéutica donde serán aplicados de forma amplia. La tecnología de los sensores industriales para la robótica es una de las principales innovaciones que ayudan a los robots a elegir caminos e interpretar aspectos ambientales para luego proceder a evaluarlos en circunstancias dinámicas [5]. Los sensores son el componente principal de los productos y soluciones que ayudan a monitorear los parámetros del proceso que afectan a la producción, economía y protección. Introducir un nuevo sensor incluye la creación de procesos de firmware para la red y las aplicaciones del sensor. Las redes de dispositivos necesitan gestionar grandes cantidades de datos por los sensores del sistema para beneficiarse de IoT, monitorean, calibran y controlan funciones de controles automáticos [6]. A pesar de que los sensores y actuadores eléctricos han estado contemporáneamente durante décadas y siguen estando en las aplicaciones industriales actuales, la aparición del IoT ha abierto completamente un mundo de nuevas posibilidades de aplicación en sensores y actuadores, no solo en el sector Industrial, de igual forma en el campo de uso comercial y doméstico [1].

Seguridad en IoT

A menudo, la seguridad se descuida o se trata como una tarea tardía tanto por los fabricantes de hardware como por los desarrolladores de software de soluciones IoT. En la mayoría de los casos, los esquemas de protección se basan sólo en software, dejando al hardware vulnerable. Una plataforma de hardware no segura, conducirá inevitablemente a una pila de software no segura. En este caso, las vulnerabilidades pueden estar presentes en cualquier capa o componente de un sistema IoT. Estas debilidades son potenciales amenazas, que incluso pueden ser aprovechadas, por personas malintencionadas, para causar ataques que afectan negativamente el funcionamiento de todo el sistema IoT o, por otra parte, como un dispositivo, servicio o aplicación. En este sentido, es importante identificar las posibles amenazas y mecanismos de seguridad para garantizar que un sistema IoT cumpla con los atributos de disponibilidad, integridad y confidencialidad [7].

Perspectiva y retos de los sensores

Hoy en día, los sensores son algunos de los elementos más complejos y críticos en las aplicaciones de medición y solución. Se puede establecer tres parámetros específicos para la utilización del sensor y son los siguientes: la sensibilidad, la escala dinámica y la precisión analítica [8];

Por esta razón, los sensores deben poseer ciertas características como las que se mencionan a continuación:

- Ancho de banda: valores mínimos hasta varias decenas de MHz.
- Peso: deben ser compactos y ligeros, así como estar hechos de materiales reciclables.
- Precisión: se necesita un valor que garantice una incertidumbre muy pequeña.
- Fiabilidad: garantía de ciclo de vida del producto por lo menos de cinco años, tal como lo reportaron las empresas encuestadas.
- Baja tensión: la instrumentación futura será diseñada únicamente para ser conectada a sensores de baja tensión, debido a la utilización de los procesadores digitales de señales (DSP) en los instrumentos que requieran baja señal de voltaje [8].

Envase a lo ya mencionado, es evidente que la industria de la electrónica, específicamente la parte de los sensores, debe aún continuar fortaleciendo su investigación en el área de la fabricación y medición y sus distintas aplicaciones tecnológicas [8].

Plataformas IoT

En la actualidad, han aparecido muchas plataformas como respuesta al vigoroso incremento de dispositivos inalámbricos aplicados en la medición y automatización de procesos industriales y residenciales. Las plataformas de IoT permiten el registro de datos recolectados por los sensores, el enrutamiento de datos en tiempo real y el control remoto de dispositivos. Del mismo modo, brindan una interfaz como punto de apertura a sus recursos por medio de los protocolos de Internet; que habilitan la interacción con lenguajes de alto nivel como LabView, Matlab y Python, para el procesamiento de datos y accionar remotamente un dispositivo [9].

El enfoque de IoT tiene muchos aspectos positivos como la simplificación de diversos protocolos propietarios junto con el correspondiente al internet (protocolo de internet); de este modo conduce a la integración de los dispositivos empotrados [10].

Monitoreo de procesos industriales por medio de sensores

Las empresas industriales utilizan sensores que envían la información de la temperatura desde el sitio donde se encuentran instalados hasta el almacenador de datos, con la ayuda de una red cableada. Esta infraestructura de red en las fábricas presenta puntos débiles. Es decir, aun cumpliendo con las normas para el extendido de redes, los cables se ven forzosamente sometidos a esfuerzos de estiramiento, corte, aplastamiento, rozamiento y torsión [11].

Por este motivo, las empresas implementan la medición de temperaturas por el método cableado, solo en la fase de secado, dado que el registro frecuente de la temperatura en dicha fase de elaboración es una condición obligatoria fijada en las BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) [11].

Clasificación de sensores en vista de sus aplicaciones en Industrias/fabricación.

Sensores de presión

Los sensores de presión son dispositivos electromecánicos que miden presiones de gases o líquidos y generan una señal a las entradas de dispositivos de visualización. Estos sensores varían en su tecnología, diseño, aplicación, rendimiento y costo [13].

Sensores de temperatura

El sensor de temperatura es un dispositivo electrónico que detecta parámetros térmicos y los convierte en datos para registrar los cambios de temperatura de una señal. Estos sensores se basan en el detector de temperatura RTD o de termopares para detectar dichos cambios de temperatura que se encuentra en el entorno a medir. Se usan en el sector automotriz, en la aviación, sector médico, computadoras personales, cocina, entre otras [14].

Sensores de proximidad

Estos sensores se usan en la industria para detectar la presencia de objetos cercanos. Generalmente emiten un campo electromagnético y buscan cambios en la señal. Se usan para operaciones de fabricación en el cual se requiere detectar piezas y componentes de máquinas [17].

Sensores de humedad

Estos sensores se encargan de medir la cantidad de agua en un ambiente y mandan una señal para poder interpretarse y visualizarse. Se utilizan en las industrias de la metalurgia, de la medicina, automotriz y manufacturera [18].

Sensores de fuerza

Son dispositivos que traducen las fuerzas mecánicas aplicadas (como tracción y compresión) y mandan señales que se pueden interpretar y visualizar indicando la magnitud de fuerza que se le aplica a un determinado objeto. Se usan generalmente en productos de consumo, dispositivos informáticos, instrumentos musicales, automóviles, entre otras [19].

Sensores de flujo

Sensores de flujo o de caudal, son dispositivos electrónicos y a su vez electromecánicos que se usan para medir el caudal de un fluido (gas o líquido) y mandan señales de salida a un controlador. Estas mediciones son importantes para controlar procesos industriales [20].

Sensores de gas

Estos dispositivos electrónicos pueden ser fijos o portátiles, se usan para la detección de gases que transmiten señales a un controlador en forma de señal de salida. Su uso es importante debido a la detección de gases nocivos y ayudan a monitorear la concentración de gas para problemas de seguridad ambiental [21].

Sensores de falla

Estos sensores se los utilizan mucho en los procesos de fabricación para indicar las irregularidades en superficies de materiales. Los sensores de falla usan medios ultrasónicos, acústicos u otros para identificar los defectos en los materiales. Su aplicación más importante está en el control de calidad durante el proceso de fabricación, inspeccionan los componentes en ensayos no destructivos y en análisis de materiales [22].

Sensores de color

Estos sensores son de tipo fotoeléctricos, emiten luz desde un transmisor y detectan la luz que se refleja desde el objeto a detectar con un receptor los sensores de color ayudan a detectar los colores en el procesamiento de imágenes, identificación de color, control de procesos industriales, sistema de salud física, etc. [23]

Sensores de luz

Al igual que los sensores de color, los sensores de luz son de tipo fotoeléctrico que convierte los fotones de la energía de la luz y los convierte en energía eléctrica (electrones). Estos sensores son muy aplicables en las diferentes industrias. sin embargo, sensores de luz como fotorresistores, fotodiodos, fototransistores, entre otros, trabajan de forma diferente con una aplicación pequeña [24].

Aplicaciones de los sensores en la industria 4.0

Precisión en la maquinaria de producción

Los sensores registrar una serie de factores tanto visibles como no, con el propósito de recopilar y enviar información en tiempo real al momento de estar produciéndose algún tipo de falla que pueda afectar a la calidad del producto y la seguridad del operario. [25].

Calcular la velocidad de las máquinas

Se usan para medir la velocidad angular y de rotación de los ejes. Principalmente aplicado en la industria automotriz para el rastreo de objetos, mediante dispositivos móviles y cámaras. Recopilan datos de cada proceso de producción y su análisis se realiza en tiempo real [26].

Detección de fallas

El análisis predictivo detecta fallas y determina el tiempo en que funcionan los componentes individuales con la máxima eficiencia. Una de las principales fallas que existen en estos dispositivos, es el error humano [27].

Medición de presión

Los sensores de presión cumplen con la función de tomar datos y transformarlos en una señal eléctrica, ya sea de líquidos o de otras fuentes que generen presión. Ya que, mediante estos se pueden desarrollar sistemas de redes IoT de rastreo empleados en la industria 4.0. Entre las aplicaciones mayormente vistas están los sistemas de agua, para detectar la cantidad de iones presentes en esta y la calidad de esta, mientras que en sistemas de calefacción se emplean para controlar los niveles en que son emitidos los gases [28].

Usos de sensores en la seguridad industrial

Una de las normas que permite diseñar y certificar los sistemas electrónicos para la seguridad industrial es la norma IEC 61508. Por lo que, mediante el cumplimiento de sus requisitos en cuanto al desarrollo, arquitectura y diseño de los sistemas, estos se puedan emplear de manera segura y legal en las industrias [29].

La aplicación de las directrices de estas normas tiene como objetivo reducir los riesgos para los operarios, evitar la contaminación al medio ambiente y tratar de impedir pérdidas económicas a las industrias. Mediante la detección de peligros y la evaluación de riesgos, se puede determinar el grado de peligro al cual este expuesto el trabajador y buscar la manera de mitigarlo o reducirlo al mínimo [29].

La aplicación de sensores va en beneficio de la seguridad humana y de la manera en cómo se manipulan diferentes procesos para evitar errores que terminen en tragedias, los cuales se tienen que certificar para poder implementarlos para que así tengan una importancia relevante en países

en vía de desarrollo. Uno de los casos más relevantes en Sudamérica es la industria colombiana, la cual poco a poco ha ido adaptándose a los nuevos avances tecnológicos para mejorar sus procesos sin descuidar la seguridad del factor humano [29].

En escenarios y configuraciones industriales, las métricas más importantes y frecuentes relacionadas con el cuerpo humano son la temperatura, la frecuencia cardíaca y la ubicación. Las métricas menos utilizadas son el movimiento y la transpiración [30]

A través del monitoreo de la seguridad y de los diferentes procesos en los cuales se encuentra la interrelación humano-robot se pueden aplicar diferentes tecnologías como: cortinas de luz y tapetes de seguridad sensibles a la presión, que detectan la presencia de un trabajador en la zona de operación de un robot. Por medio de un sistema de radiolocalización, el cual a través de transceptores detecta la posición del operador sobre el campo de perturbaciones y optimizar su trayecto [30].

La ubicación del trabajador es uno de los parámetros más importantes cuando hablamos de garantizar la seguridad laboral en la industria. Al conocer la ubicación de cada empleado, el gerente de seguridad puede organizar evacuaciones de manera eficiente, distribuir ayuda y mano de obra, evitar el acceso no autorizado al lugar de trabajo o al equipo [31].

Es de gran ayuda detectar la posición del trabajador al momento de realizar su labor en el caso de los tapetes, esta tecnología se podría aplicar en la industria ecuatoriana para evitar accidentes debido a las aproximaciones indebidas por parte del obrero a las máquinas, ya que se podría detectar la presencia de este y en el caso de una infracción en el límite de seguridad se podría parar los procesos como caso de emergencia [31].

El uso de una chaqueta equipada con sensores es otra aplicación importante para la seguridad de los trabajadores en la industria, ya que monitorean los signos vitales de los empleados y se puede tener monitoreado el estado de salud de este, en caso de algún tipo de fallo o anomalía, se informe al personal médico de los problemas suscitados y puedan acudir a la ubicación de este a la brevedad del caso. El chaleco almacena la energía cinética de los movimientos del usuario y la libera cuando es necesario, gracias a la electrónica incorporada en el material textil [32].

En los últimos dos años, la industria japonesa cambió radicalmente sus normas de seguridad para cuidar y preservar la salud de sus empleados, tal es el hecho que se desarrollaron chalecos con sensores de temperatura que detectan diferentes aspectos vitales en cuanto a las condiciones del operario, tal como son sus signos vitales, los niveles de presión, la temperatura corporal y posee la

capacidad de adaptarse de manera automática a diferentes temperaturas teniendo en cuenta el área de trabajo, ya que algunas de estas se encuentran expuestas a altas y bajas temperaturas, con lo cual este chaleco beneficioso para acoplarse al medio [32]. También se aplicó una matriz de sensores de alambre conductor que cambia de resistencia en el caso de daños por ataques balísticos o punzantes [32].

Sistema SCADA

El sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) está desarrollado e implementado para monitorear y analizar parámetros de consumo en energía, de igual forma recopila datos, monitorea y controla sistemas industriales, la característica de operaciones para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de combustible [33]. Su sistema de red consta de uno o más MTU (Master Terminal Unit). RTU (Remote Terminal Unit) es un dispositivo diseñado para uso industrial, recolecta datos de sensores digitales y analógicos. Este tipo de sistemas emplea sensores cableados o inalámbricos para transportar los datos recopilados por el sensor y enviarlos a los actuadores [34].

El propósito de los sistemas SCADA es implementar una arquitectura para proteger el sistema ante ataques externos y a su vez, aumenta la resistencia de la red de sensores, canal de comunicación, dispositivos separados y marco de datos. Otro motivo para implementar este sistema es la adquisición de datos que determinan el uso de las redes inalámbricas. Ya que, si está instalado en un área grande, entonces la WSN y la red de operadores móviles se utilizarán como entorno de transporte [34].

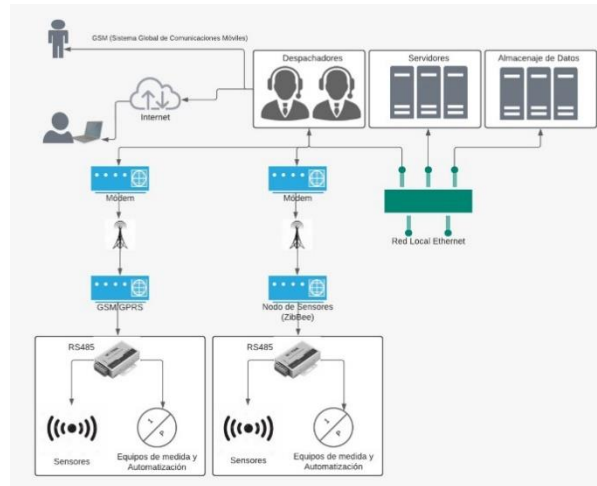


Figura 3. Prototipo de redes inalámbricas para el sistema SCADA

Fuente: Elaboración propia

La clasificación del ataque sobre WSN del sistema SCADA

Los principios de transmisión de datos usados en redes inalámbricas, posibilitan la realización de los cuatro tipos de impactos: interceptación, alteración, destrucción e inyección de código [35].

Los ataques en WSN de los sistemas SCADA se dividen en la siguiente categoría:

- Ataques de acceso
- Ataques de privacidad
- Ataques a la integridad

Clasificación de los ataques en detalle de direcciones de impactos:

1. Ataques a la red de sensores del sistema SCADA.
 - a) Crear interferencia activa en el área de trabajo del sistema SCADA.
 - b) Ataques a la interfaz hombre-máquina del sistema SCADA.
 - c) Ataques a las direcciones de WSN: interceptación de tramas de nodos de sensores y el remplazo del coordinador central.
2. Ataques a nodos de redes de sensores relacionados con dispositivos.
 - a) Cambio de firmware, controladores y software de controladores industriales.
 - b) Ataques de inyección por suplantación de identidad [36].

Gestión de claves para el cifrado de datos en WSN de los sistemas SCADA

1. Clave maestra.
2. Clave de red NK.
3. Claves de enlace de sesión [36].

Métodos de gestión de claves para la transmisión segura de datos de sensores a través de WSN

Los sistemas de redes inalámbricas tienen el beneficio de ser económicas en cuanto a su instalación y su mantenimiento, pero constan de vulnerabilidad en el ámbito de seguridad al estar abiertas al público, el poder computacional y los nodos de memoria son limitados, no son capaces de proporcionar una protección a los datos. Por lo que estas limitaciones están siendo objeto de mejora por parte de SCADA para garantizar una mejor arquitectura de sistemas de seguridad en cuanto a niveles de red [37].

○ Gestión automática de claves híbridas con enrutamiento dinámico.

La metodología para gestionar de forma automática las claves híbridas para cifrar datos transmitidos del remitente será la siguiente:

1. El remitente genera una clave de sesión aleatoria para el algoritmo AES de 128 bits.
2. El remitente envía una solicitud de difusión para crear la ruta RREQ y obtener la clave pública del destinatario para cifrar la clave de sesión.
3. El receptor genera un par aleatorio "clave pública-clave privada" para el algoritmo RSA y envía la clave pública al remitente junto con la respuesta de la ruta RREP [37].

○ El esquema de arbitraje de la gestión de claves híbridas en el proceso de enrutamiento jerárquico.

La metodología es la siguiente:

1. Los nodos reciben direcciones.
2. Cada nuevo nodo que se une genera una clave al azar "clave pública – clave privada". Las claves privadas se almacenan en nodos sensores.
3. La fuente envía una solicitud al centro de claves para generar y recibir la clave de sesión.
4. El centro de gestión autentica el origen.
5. La clave de sesión se envía al origen y destino.

6. La fuente encripta el marco usando la clave de sesión [37].
 - **El esquema de arbitraje de la clave híbrida gestión en el enrutamiento WSN Many-to-One**

La técnica para gestionar las claves híbridas para el cifrado de trama de datos es la siguiente:

1. El coordinador central envía una solicitud de transmisión.
2. El nodo sensor recibe la solicitud.
3. El coordinador recibe la trama con la información de enrutamiento, luego genera la clave de conexión de sesión y la encripta por la clave pública recibida.
4. El nodo sensor descifra la clave de sesión utilizando la clave privada.
5. El marco se cifra con la clave de sesión y la envía al coordinador.
6. El coordinador descifra el marco recibido con la misma clave y lo destruye [37].

Brazo Robótico

Dentro de la seguridad industrial, una de las más importantes consideraciones que en la actualidad se puede tomar en consideración es el uso de un sistema de brazo robótico como es el caso de aquellos usados en fábricas que emplean materiales tóxicos y perjudiciales para la salud de los operadores, este sistema suele ser activado por medio de sensores de voz, resguardando la seguridad de los trabajadores ya que también hace uso de cámaras las cuales se encargan de agilizar el trabajo. Haciendo uso de la programación en Arduino es posible poner en marcha este sistema ya que en él se fijan las respectivas condiciones para poner en marcha el comando de voz, *bitvoice* se encarga de procesar la palabra y pondrá en marcha las secuencias programadas, cabe considerar que se admiten palabras ya que se hace uso de valores string que no reconoce valores numéricos [38].

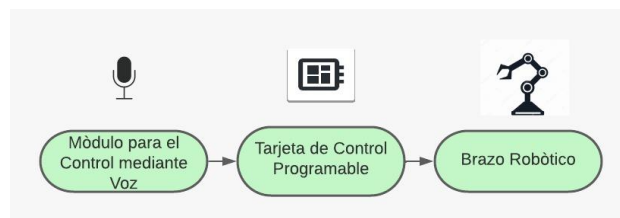


Figura 4. Modelo del brazo robótico activado por voz

Fuente: Elaboración propia

Sistemas de seguridad

Dentro de un sistema de seguridad se considera como objetivo principal, un diseño en base a sensores de movimientos y temperatura, sistema óptimo para resguardar la salud laboral ya que hace uso de sensores de movimientos que cumplen la función de detectar la presencia, además de ello se encargan de recolectar la información de fecha, hora y de acumular esta información en una base de datos; por otro lado el sensor de temperatura controla la temperatura del ambiente y es capaz de encender alarmas en función a las temperaturas óptimas de trabajo dentro de un proceso laboral. Cabe mencionar que como dispositivos se emplean sensores de temperatura LM35 y en lo que se refiere a los sensores de movimientos son usados los LX 16C, cabe mencionar que la gama de sensores en el mercado es amplia, mismo que dependiendo del capital disponible y la necesidad la selección de estos sensores es amplia. [39].

Un correcto monitoreo de la seguridad conlleva a que las empresas usen plataformas *Ubidots* para monitorear variables físicas ambientales, pues la plataforma analizará la información obtenida de los sensores de luz y temperatura desde cualquier ubicación y en el momento necesario facilitando así el control y la prevención oportuna del ambiente en el cual se desarrollan las actividades laborales [39].

Casco inteligente de seguridad industrial

La seguridad dentro de la industria y sus respectivos procesos son un tema que tiene mucha importancia al momento de hacer uso de las distintas herramientas, maquinarias y equipos por parte de los trabajadores, ya que los mismos al hacer uso de estos crean entornos de trabajo lleno de riesgos y peligros. Por lo cual en la actualidad existen normas laborales que obliga a la empresa a dotar a sus trabajadores de EPP's (Equipos de Protección Personal) tales como: cascos para prevenir accidentes y enfermedades ocupacionales. [41]

Una de las áreas de aplicación en las cuales se interrelaciona el uso de sensores en la seguridad industrial y con la finalidad de resguardar la integridad de los trabajadores dentro de una industria se considera interesante la idea de diseñar un casco de seguridad inteligente mismo que ayudaría a reducir el índice de accidentabilidad de los trabajadores, todo esto en el concepto de protección laboral. El caso usa componentes electrónicos dentro de los cuales se mencionan los dispositivos de alerta q además ofrecen la posibilidad de analizar niveles nocivos de gases ayudando a prevenir

enfermedades ocupacionales a corto y largo plazo como consecuencia de las actividades que realizan los trabajadores.

Como es de conocimiento, hoy en día la tecnología no ha sido capaz de proporcionar información en tiempo real del trabajador y su relación con el personal médico, lo que sería óptimo para con la interacción del departamento de seguridad industrial alertar al trabajador que se expone a condiciones de trabajo peligrosas, de controlar que los mismos hagan uso de los equipos de protección personal o si fuese el caso de controlar que las actividades a desarrollarse sea puestas en marcha por personal capacitado logrando así precautelar la salud de los operadores o personas inexpertas dentro de áreas de las cuales desconocen [40]. Por lo tanto, la finalidad de la implementación de estos equipos se desarrolla con el propósito de mejorar los mismos, encaminadas a la interacción inteligente tanto con el entorno de trabajo, así como con el usuario. En la implementación se pretende añadir características que ayuden a maximizar la integridad y seguridad de los trabajadores en el sector de la minería y la industria [41].

Un casco de este tipo cuenta con múltiples sensores, entre los que se destacan tres sensores de proximidad que dependiendo de su uso se instalan en lugares específicos, estos sensores cumplen la función de emitir señales a menos de 50 cm de distancia. La señal que se emite es receptada por un sistema arduino, el cual cumple la función de procesar las señales y ordena a actuar a un motor vibratorio ocasionando la inmediata actuación del operario, cabe destacar que la frecuencia de vibración aumenta cuando la distancia entre el sensor y el objeto se reduce lo que permitirá al trabajador desarrollar de manera eficiente en sus actividades.

También el caso tiene la particularidad de realizar un análisis de la cálida atmosférica de entre los cuales resalta el gas metano y dióxido de carbono, que luego de un procesamiento da a conocer en tiempo real las concentraciones las que está expuesta un trabajador dentro del área minera. Cuenta con sensores de húmedas, misma que controla la temperatura y humedad a la cual el trabajador está trabajando con la finalidad de prevenir enfermedades ocupacionales.

El sistema es dotado de energía desde una batería externa de ion litio la cual está conectada al Arduino y al motor. Las conexiones entre el Arduino, sensores, motores y alimentación convergen en una placa PCB, ubicada junto al Arduino y la batería en una caja en la zona posterior del casco [42].

Red industrial de sensores inalámbricos

En relación con el internet de las cosas, los dispositivos se ven muy aventajados esto debido a que la integración y agregación de datos críticos entre las disposiciones geográficas de los sensores mejora mucho la recolección de información siendo está mucho más precisa. Sin embargo, existen muchas estrategias para la interconexión de estos dispositivos, por ello es importante conocer cuál es la más adecuada considerando los requisitos de implementación que se desea realizar y poner en marcha [43].

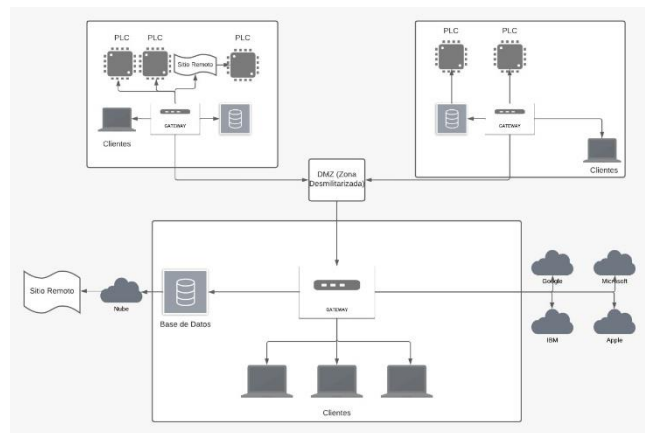


Figura 5. Edificaciones SCADA para el escalamiento de aplicaciones.

Fuente: Elaboración propia

Avances en los protocolos y tecnologías de comunicación

Como protocolos y tecnologías de comunicación se incluyen tecnologías tales como Bluetooth, GSM, GPRS, WiMax, Wifi, ZigBee, Ultra-Wideband (UWB), microondas o WSNs. Dentro de este conjunto, la WSNs industrial (Red de sensores inalámbricos). Dentro de estas tecnologías es importante resaltar la WSNs industrial y su interacción con los servicios que ofrecen servicios de controlar, monitorear, detectar, rastrear y alertar diversas condiciones por lo cual son empleados ampliamente a nivel industrial proporcionando así un sistema de comunicación eficiente y garantizando la seguridad. [43].

En lo referente a la infraestructura inteligente, es importante considerar la interconexión de los elementos físicos tales como pueden ser los contadores inteligentes, sensores, dispositivos electrónicos inteligentes y sensores pole top, haciendo uso del internet como el medio más óptimo para establecer la comunicación, con lo que respecta a la seguridad industrial es importante que

estos dispositivos brinden un rendimiento eficiente y adecuado referente a la obtención de datos en tiempo real [43].

Wearables en la seguridad industrial

Los Wearables son un conjunto de dispositivos electrónicos que al estar en contacto con el cuerpo humano hace posible la interacción de forma continua entre el usuario y el dispositivo con la finalidad de realizar una actividad específica y concreta. Para comprender el significado se puede mencionar los relojes digitales o smartwatches, zapatillas deportivas con GPS incorporado y pulseras que controlan el estado cardíaco de una persona en lo referente a la salud son pocos los ejemplos entre muchos dispositivos de carácter tecnológico que se han adaptado en la actualidad a nuestra forma de vida [44].

Es importante considerar que los dispositivos industriales portátiles tienen que ser de carácter fiable en comparación a los que se usan en distintas industrias y aquellos que son usados fuera del área industrial esto por el hecho de que en los entornos industriales sus valores referentes a temperatura son muy elevados y además pueden estar expuestos a radiación, por lo cual se requiere de mayor durabilidad física del dispositivo portátil. Además de ello, cabe mencionar que el lugar de trabajo en un área específica requiere de una mayor precisión, alcance y un tiempo de respuesta mucho más eficiente que las tecnologías tradicionales en un ámbito laboral aplicado. Como es de conocimiento los avances tecnológicos, dentro los cuales se encuentran los Wearables, facilitan el desenvolvimiento laboral reduciendo las tareas de carácter manual lo cual mejora de manera efectiva la seguridad en el trabajo [44].

Entre los principales Wearables usados en la seguridad industrial se tienen una serie de dispositivos que ayudan con la actividad de proteger la integridad física del trabajador de entre los cuales resaltan los siguientes:

- **Seguimiento y control de parámetros vitales de los trabajadores**

La información obtenida acerca de parámetros vitales de un trabajador tales como la frecuencia cardíaca, presión arterial, temperatura corporal y actividad cerebral ayuda a que el departamento de seguridad apruebe si un operario está en las condiciones de salud óptimas para desarrollar las actividades planeadas, todo esto en base a un análisis de los parámetros vitales y desde un punto de vista físico [45].

- **Seguimiento de parámetros ambientales en los lugares de trabajo**

Tener un adecuado control de los parámetros ambientales como la temperaturas máxima y mínima, la presión atmosférica, los niveles de radiación en caso de ser necesario, niveles de toxicidad entre otros parámetros, permiten a la organización actuar de manera preventiva ante posibles emergencias, controlar aspectos que pueden afectar al personal, dotarlos de equipos de protección adecuados y la evacuación de los trabajadores si la situación lo amerita [47].

- **Incrementar las capacidades físicas de los trabajadores**

La variedad de industrias en la cuales los trabajadores ejercen su profesión y realizan actividades requieren de interacción física y fuerza humana ya sea para levantar y transferir objetos pesados, estas acciones en muchos casos ocasionan una serie de lesiones musculoesqueléticas por ello como dispositivo de innovación para estos procesos las empresas han optado por hacer necesario que sus operario usen artículos portátiles como los exoesqueletos, los cuales apoyan al sistema musculoesquelético para evitar daños en los operarios [48].

- **Facilitar la comunicación entre los trabajadores**

Entre las ventajas de usar Woreables como una manera de precautelar la seguridad en la industria, contar con dispositivos auriculares integrados con micrófonos, son una opción más eficiente al momento de hacer necesaria la comunicación en comparación al uso del teléfono, ya que por su tamaño, peso y comodidad estos dispositivos evitan que los trabajadores se distraigan a la hora de realizar sus actividades [49].

- **Formación de los trabajadores**

Referente a la formación de los trabajadores, algunos dispositivos portátiles como el “UpRight Go” ayudan a corregir las malas posturas al momento de llevar a cabo unas actividades dentro del trabajo, este es uno de los dispositivos que ayuda a mantener una postura correcta mediante un análisis biomecánico para con ello evitar que el trabajador tome posturas inadecuadas en la realización de sus actividades.

Además, haciendo uso de artefactos tecnológicos de simulación como cascos de realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) hace posible la capacitación de los operadores en actividades nuevas y uso de nuevas tecnologías, logrando así reducir posibles lesiones al momento de interactuar de manera física con dichas operaciones [31].

- **Prevención de golpes por máquinas en movimiento**

Las colisiones es uno de los accidentes que más ocasionan lesiones dentro de una industria, por ello es importante hacer uso de sensores de proximidad y también hacer eficiente el seguimiento de la ubicación de los objetos con la finalidad de evitar este tipo de inconvenientes, fomentando así la seguridad dentro de las industrias [50].

Discusión

Debido a la importancia que exige hoy en día la seguridad, se han analizado las características de los diferentes sistemas estratégicos utilizados y su idoneidad en entornos industriales.

Los sistemas de sensores de seguridad a nivel industrial son una parte clave dentro de las grandes organizaciones, los mismo que requieren una gestión adicional de la energía para trabajar eficazmente.

La solución TCP/IP garantiza que la WSN ubicada en las subestaciones remotas están totalmente integrados con internet, para proteger la WSN de cualquier tipo de intrusión.

La falta de maquinaria de seguridad en el campo de las industrias ha hecho posible la adopción e implementación de métodos de seguridad.

Los sistemas PLC y SCADA también requiere la participación de expertos externos para identificar y corregir cambios de software en los controladores.

La principal desventaja de la gestión de claves métodos en el cifrado híbrido y asimétrico es la posibilidad de un ataque exitoso para falsificar el clave pública o nodos, donde el par de claves para él se generan cifrados asimétricos, lo que lleva a un compromiso de toda la red de sensores.

Conclusiones

Con relación a lo expuesto, los sensores industriales ofrecen innumerables oportunidades para mantener la seguridad laboral, los cuales ayudan a mejorar la calidad de vida de los seres humanos en diferentes ámbitos ya que en estos tiempos el entorno de trabajo está cubierto de muchas fuentes de peligro.

Se identificó la cantidad de aspectos positivos que se tiene al hacer uso de los sensores industriales en la seguridad, sin embargo, también se debe tomar en consideración el factor de los costos que conlleva dicha implementación.

Con los ejemplos revisados acerca de las aplicaciones de los sensores en la seguridad industrial, se evidencia el potencial de innovación que se puede generar, ya que se asocian correctamente los conceptos del funcionamiento de los tipos de sensores empleados, con las necesidades o requerimientos de quienes buscan implementarlos; tal es el caso del casco inteligente que, persiguiendo la idea de brindar seguridad y reducir índices de accidentabilidad, plantea una genuina opción de cómo la tecnología asiste a la industria ocupándose de incrementar las capacidades y desarrollo de las operaciones de cada uno de sus trabajadores. Así, características como éstas son las que hacen que las empresas resalten frente a la competencia, y logren posicionarse cada vez más alto en la industria.

Gracias a que existe la posibilidad de interconectar los sensores mediante redes inalámbricas, se puede aprovechar de la manera más adecuada los beneficios que estos sistemas tecnológicos brindan en cuanto al monitoreo en tiempo real, al rastreo y detección de señales, la facilitación de los controles, etc., para agilizar los procesos de recolección de datos y de procesamiento de información; es aquí que el sistema SCADA muestra su peso de conveniencia al dar protección a todo este conjunto de datos, salvaguardando al sistema de los ataques externos que fueron expuestos y desarrollados en este trabajo.

Además, el conocer cada tipo de sensor, cada clase de programación junto con sus softwares, cada clase de tecnología de enrutamiento de datos, implica la demanda de profesionales capacitados que se requiere para estas áreas, no solo actuando como los principales responsables, sino también, involucrando directamente al personal de cada industria, pues qué empresa no desea generar valor agregado en sus procesos de producción, qué empresa no contempla la posibilidad o tal vez la urgencia de implementar nuevos sistemas tecnológicos que las haga más competentes, y por supuesto, uno de los factores a considerar para alcanzar este propósito, es la reducción de riesgos para las personas, adecuando los ambientes de trabajo en las plantas mediante el uso de tecnología, teniendo una organización más eficiente del espacio que ocupa la maquinaria, y monitoreando a la misma con los sensores que más se adecúen según las operaciones que realicen.

La seguridad cada vez va adquiriendo mayor relevancia a nivel industrial y, es en la medida en que avanza el desarrollo tecnológico, que se constituye en un campo amplio de investigación, análisis e implementación de todos y cada uno de los elementos que fueron objeto de estudio en este trabajo.

Referencias

1. S. Kiran and G. Gupta, "A pragmatic analysis on wireless sensors and actuador technologies for security in Internet of Things," *International journal of Future generation Communication and Networking*, vol. 13, no. 4, p. 9, 2020.
2. R. Poweers, M. Etezadi-Amoli, E. Arnold, S. Kianian, M. Gibiansky, D. Trietsch, A. Singh Alvarado, J. Kretlow, A. Ullal, S. Brillman, N. Huang, P. Lin, H. Pham and A. Ullal, "Smartwatch inertial sensors continuously monitor real-world motor fluctuations in Parkinson's disease," *Science Translational Medicine*, vol. 13, no. 579, 2021.
3. Y.-R. Ding, C.-H. Xue, Q.-Q. Fan, L.-L. Zhao, Q.-Q. Tian, X.-J. Guo, J. Zhang, S.-T. Jia and Q.-F. An, "Fabrication of superhydrophobic conductive film at air/water interface for flexible and wearable sensors," *ELSEVIER*, vol. 404, no. 126489, 2021.
- V. Deshpande, L. George and H. Badis, "PulSec: Secure Element based framework for sensors anomaly detection in Industry 4.0," *ELSEVIER*, vol. 52, no. 13, pp. 1204-1209, 2019.
4. J. Lee, B. Bagheri and H.-A. Kao, "A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems," *ELSEVIER*, vol. 3, pp. 18-23, 2015.
- VI. C. V. S. D. J. P. G. B. S. V. Hassija, "A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and," *IEEE Access*, vol. VII, p. 82721–82743, 2019.
 - A. M. Nivia Vargas and I. Jaramillo Jaramillo, "The sensor industry in Colombia," *Tecnura*, vol. 22, no. 57, pp. 44-54, 2017.
5. M. Quiñones-Cuenca, V. Gonzales-Jaramillo, R. Torres and M. Jumbo, "Sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de Internet de las Cosas," *Enforque UTE*, vol. 7, no. 1, pp. 329-343, 2017.
 - A. Cama, E. De la Hoz and D. Cama, "La red de sensores inalámbricos y el internet de las cosas," *INGE CUC*, vol. 8, no. 1, pp. 163-172, 2012.
 - A. P. Quiñones, D. A. Godoy and E. O. Sosa, "Redes inalámbricas de sensores: Una experiencia en al industria del té," *Repositorio institucional de la UNLP*, pp. 161-171, 2013.
6. Q. Wu, Y. Qiao, R. Guo, S. Naveed, T. Hirtz, X. Li, Y. Fu, Y. Wei, G. Deng, Y. Yi, X. Wu and T.-L. Ren, "Triode-Mimicking Graphene Pressure Sensor with Positive Resistance Variation for Physiology and Motion Monitoring," *ACS Publications. Most Trusted. Most Cited. Most Read*, vol. 10, p. 10104–10114, 2020.

7. V. K. Rai, "Temperature sensors and optical sensors," SpringerLink, vol. 2, no. 88, p. 297–303, 2007.
8. K. Grantz, D. Cumming, S. Zimmer and D. Galloway, "Age-specific social mixing of school-aged children in a US setting using proximity detecting sensors and contact surveys," Scientific Reports, vol. 11, no. 2319, 2021.
 - B. Zhi and C. Lu, "Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms," Ingenta Connect, vol. 22, pp. 274-295, 2005.
9. J.-X. Shi, X.-W. Lei and T. Natsuki, "Review on Carbon Nanomaterials-Based Nano-Mass and Nano-Force Sensors by Theoretical Analysis of Vibration Behavior," MDPI Open Access Journals, vol. 5, p. 1907, 2021.
10. F. Ejeian, S. Azadi, A. Razmjou, Y. Orooji, A. Kottapalli, W. Ebrahimi and M. Asadnia, "Design and applications of MEMS flow sensors: A review," Elsevier, vol. 295, pp. 483-502, 2019.
 - C. Wang, L. Yin, L. Zhang, D. Xiang and R. Gao, "Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors," MDPI Open Access Journals, vol. 3, no. 10, pp. 2088-2106, 2010.
 - A. Repelianto and N. Kasai, "The Improvement of Flaw Detection by the Configuration of Uniform Eddy Current Probes," MDPI Open Access Journals, vol. 2, no. 19, p. 397, 2018.
11. L. Gómez Robledo, N. López-Ruíz, M. Melgosa, A. Palma and M. Sánchez Marañón, "Using the mobile phone as Munsell soil-colour sensor: An experiment under controlled illumination conditions," Elsevier, vol. 99, pp. 200-208, 2014.
12. N. Silberman and R. Fergus, "Indoor scene segmentation using a structured light sensor," IEEE Xplore logo , pp. 601-608, 2011.
13. M. Borghetti, E. Cantú, E. Sardini and M. Serpelloni, "Future Sensors for Smart Objects by Printing Technologies in Industry 4.0 Scenario," MDPI Open Access Journals, vol. 22, no. 5916, 2020.
14. M. Haseeb, H. I. Hussain, B. Slusarczyk and K. Jermsittiparsert, "Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Performance," MDPI Open Access Journals, vol. 5, no. 154, 2019.

15. J. Wei, J. Xie, P. Zhang, Z. Zou, H. Ping, W. Wang, H. Xie, J. Z. Shen, L. Lei and Z. Fu, "Bioinspired 3D Printable, Self-Healable, and Stretchable Hydrogels with Multiple Conductivities for Skin-like Wearable Strain Sensors," ACS Publications. Most Trusted. Most Cited. Most Read, vol. 2, p. 2952–2960, 2021.
16. S. Wang, J. Wan, D. Zhang, C. Zhang and D. Li, "Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination," Elsevier, vol. 101, pp. 158-168, 2016.
 - A. Hayek, S. Telawi, J. Börcsök, R. A. Zeid Daou and N. Halabi, "Smart wearable system for safety-related medical IoT application: case of epileptic patient working in industrial environment," Springer Nature, p. 3, 2019.
 - D. Podgórski, K. Majchrzycka, A. Dźbrowska, G. Gralewicz and M. Okrasa, "Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies," International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 22, p. 8, 2016.
 - E. Svertoka, S. Saafi, A. Rusu-Casandra, R. Burget, I. Marghescu, J. Hosek and A. Ometov, "Wearables for Industrial Work Safety: A Survey," EL SEVIER, vol. 21, no. 11, pp. 5-6, 2021.
17. Z. Wang, P. Zeng, L. Kong, D. Li and X. Jin, "Node-Identification-Based Secure Time Synchronization in Industrial Wireless Sensor Networks," EL SEVIER, vol. 18, no. 8, p. 12, 2018.
 - F. Mouson, M. Yildirim and J. Twomey, "Operational methods for minimization of energy consumption of manufacturing equipment," Taylor and Francis Online, vol. 45, pp. 4247-4271, 2007.
 - A. Tyukon, A. Ushakov, M. Shcherbakov, A. rebels and V. Kamawv, "Digital Signage Based Building Energy Management System: Solution Concept," World Applied Sciences Journal 24, pp. 184-188, 2013.
18. P. V. Botvinkin, V. Kamaev, I. Nefedova, A. Finogeev, A. Finogeev and E. Finogeev, "Analysis, classification and detection methods of attacks via wireless sensor networks in SCADA systems," Cornell University, vol. 1, 2014.

19. K. Sekaran, R. Vikram, B. Chowdar and U. Raju, "Combating Distributed Denial of Service Attacks Using Load Balanced Hadoop Clustering in Cloud Computing Environment," *ACM Journals*, p. 77–81, 2018.
- A. Finogeev and A. Finogeev, "Information attacks and security in wireless sensor networks of industrial SCADA systems," *ScienceDirect*, vol. 5, pp. 6-16, 2017.
20. V. Quintero-Rosas, D. Saldaña Higareda and H. Villareal Rodríguez, "Control de seguridad no invasivo," *Redalyc*, vol. XVIII, no. 1, p. 8, 2015.
- B. Muñoz, G. A. Morales and V. F. Miramá, "Aplicación de una red de sensores inalámbricos en un ambiente de trabajo industrial," *Revista espacios*, vol. 41, p. 16, 2020.
- A. Cruz Salguero, Artist, Análisis de factibilidad de la implementación de un modelo de casco inteligente en trabajos de galerías y túneles. [Art]. Universidad Internacional SEK, 2018.
21. Á. R. S. S. M. J. V. A. O. Erazo Moreta, "Monitorización de gases contaminantes en ambientes cerrados usando WSN para la toma de acciones preventivas," *Universidad y Sociedad*, vol. 12, no. 3, pp. 116-122, 2020.
- G. N. Aguilera Vidal, F. L. Gallegos Ramírez and A. M. Rea Freire, "Industrial Safety Smart Helmet for the Prevention of Accidents and," *InGenio Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 2-8, 2018.
- C. Alcaraz, R. Roman, P. Najera and J. Lopez, "Security of industrial sensor network-based remote substations in the context of the Internet of things," *ScienceDirect*, vol. 11, p. 14, 2012.
22. F. Dian, R. Vahindnia and A. Rahmati, *Wearables e Internet de las cosas (IoT), aplicaciones, oportunidades y desafíos*, Estados Unidos: Melkas, 2021.
23. OPTALERT, "Eagle Industrial," 27 Mayo 2021. [Online]. Available: <https://www.optalert.com/explore-products/eagle-industrial/>. [Accessed 19 Mayo 2022].
24. QOOWEAR, "Qoowear Thermal Wear With Ai," 2019. [Online]. Available: <http://qoowear.com>. [Accessed 19 Mayo 2022].
25. LEAVO, "LEAVO EXOSKELETONS," 12 Agosto 2019. [Online]. Available: <https://www.laevo-exoskeletons.com/en/laevo-v2>. [Accessed 19 Mayo 2022].

26. M. Menolotto, D. Sokratis Komaris, S. Tedesco and B. O’Flynn, "Motion Capture Technology in Industrial," *SENSORS*, vol. 2, no. 23, pp. 1-22, 2020.
27. p. Kah, M. Shrestha, E. Hiltunen and J. Martikainen, "Robotic arc welding sensors," *International Journal of Mechanical and*, vol. 5, no. 10, pp. 2-15, 2015.
28. L. Huang, L. Ding, J. Zhou, S. Chen, F. Chen, C. Zhao, J. Xu, H. Wenjun , J. Ji, H. Xu and G. Liu, "One-step rapid quantification of SARS-CoV-2 virus particles via low-cost nanoplasmonic sensors in generic microplate reader and point-of-care device.," *ELSEVIER*, vol. 171, no. 112685, 2021.
29. S. Lee, A. Reuveny, J. Reeder, S. Lee, H. Jin, Q. Liu, T. Yokota, T. Sekitani, T. Isoyama, Y. Abe, Z. Suo and T. Someya, "A transparent bending-insensitive pressure sensor," *Nature Nanotechnology*, vol. 11, pp. 472-478, 2016.
30. H.-Y. Chen, A. Chen and C. Chen, "Investigation of the Impact of Infrared Sensors on Core Body Temperature Monitoring by Comparing Measurement Sites," *MDPI Open Access Journals*, vol. 10, p. 2885, 2020.
31. Y. Du, G. Yu, X. Dai, X. Wang, B. Yao and J. Kong, "Highly Stretchable, Self-Healable, Ultrasensitive Strain and Proximity Sensors Based on Skin-Inspired Conductive Film for Human Motion Monitoring," *ACS Publications. Most Trusted. Most Cited. Most Read*, vol. 12, no. 46, p. 51987–51998, 2020.
32. p. Kah, M. Shrestha, E. Hiltunen and J. Martikainen, "Robotic arc welding sensors and," *International Journal of Mechanical and*, vol. 5, no. 10, pp. 2-15, 2015.