

**Implementación de un Sistema de Telecontrol Aplicado a un Robot de Telepresencia con
Tecnología Omnidireccional**

Nelson Enrique Trillos León

Jorge Andrés Moreno Lozada

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Electrónico

Director

Homero Ortega Boada

Ingeniero Electrónico. Ph.D.

Codirector

Juan Pablo Moreno Acosta

Ingeniero Electrónico.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2017

Tabla de contenido

Introducción	14
1. Marco teórico.	15
1.1. La Telepresencia.	15
1.2. Modelo de Capas de la Plataforma IoT UIS.	20
1.2.1. Capa de usuario.	21
1.2.2. Aplicaciones IoT.	21
1.2.3. Módulo de análisis y procesamiento.	21
1.2.4. Módulo de gestión de la información.	22
1.2.5 Módulo de control de acceso.	22
1.2.6. Módulo de recepción y sesión de dispositivos.	23
1.3. Robots Omnidireccionales.	23
1.3.1. Ruedas Mecanum.	23
1.3.2. Control cinemático de robots omnidireccionales.	25
1.4. Sistemas Embebidos.	28
1.4.1. Sensores.	29
1.4.1.2. Sensores de Humedad.	31
1.4.1.3. Sensores de proximidad.	31
1.4.2. Actuadores.	32
1.4.2.1. Actuadores neumáticos.	33
1.4.2.2. Los actuadores hidráulicos.	33
1.4.2.3. Actuadores eléctricos.	34
2. Objetivos del proyecto.	36
2.1. Objetivo general.	36

TELECONTROL A UN ROBOT DE TELEPRESENCIA OMNIDIRECCIONAL	5
2.2. Objetivos específicos.	36
3. Identificación de la necesidad.	37
4. Implementación del servicio de Telepresencia.	39
4.1. Modelo de capas.	39
4.1.1. Capa de usuarios.	39
4.1.2. Capa terminal IoT (IoTT):	40
4.1.3. Capa de acceso.	40
4.1.4. Capa de la nube.	40
4.1.5. Capa de aplicaciones.	40
4.2. Arquitectura.	41
4.2.1. Módulo de dispositivos.	41
4.2.2. Módulo de comunicaciones.	42
4.2.3. Módulo de recepción.	44
4.2.4. Módulo de control de acceso.	44
4.2.5. Módulo de gestión de la información.	44
4.2.6. Módulo de aplicaciones IoT.	44
4.2.7. Módulo de análisis y procesamiento.	45
4.3. Representación.	45
5. El terminal IOT.	46
5.1. Interfaz de comunicación.	47
5.2. Aplicaciones.	48
5.3. Sistema administrable.	48
5.4. Sensores y actuadores.	50
5.4.1. Módulo de sensado.	51

TELECONTROL A UN ROBOT DE TELEPRESENCIA OMNIDIRECCIONAL	6
5.4.2. Módulo de actuadores.	51
5.4.3. Módulo de alimentación.	53
5.5. Prueba del IoTT.	54
6. Implementación del servicio IoTT.	57
7. Validación del servicio IoTT.	63
8. Conclusiones.	732
9. Recomendaciones y trabajos futuros.	723
Referencias Bibliograficas.	755

Lista de tablas

Tabla 1. Síntesis de las historias de Usuarios.	38
Tabla 2. Configuración de los comandos para el control del robot.	49
Tabla 3. Giros y velocidades en las ruedas.	56
Tabla 4. Consumo del robot.	57
Tabla 5. Características del robot de telepresencia.	71

Lista de figuras

Figura 1. Modelo plataforma IoT UIS.	20
Figura 2. Rueda omnidireccional tipo Mecanum.	24
Figura 3. Vista superior de la descomposición de fuerzas ejercidas sobre rueda Mecanum.	24
Figura 4. Combinaciones para obtener cualquier dirección de desplazamiento.	25
Figura 5. Configuración y posicionamiento de las ruedas.	26
Figura 6. Parámetros de la rueda.	27
Figura 7. Sistema embebido con periféricos.	29
Figura 8. Clasificación de los actuadores.	33
Figura 9. Metodología para extraer requisitos.	37
Figura 10. Historia de usuario.	38
Figura 11. Modelo de TP- IoT.	39
Figura 12. Arquitectura del Servicio de Telepresencia.	41
Figura 13. Protocolo de Inicio.	43
Figura 14. Protocolo de Acciones.	43
Figura 15. Representación del Servicio de Telepresencia.	45
Figura 16. Modelo del IoTT.	47
Figura 17. Base omnidireccional.	52
Figura 18. Arquitectura circuital.	55
Figura 19. Conexión directa PC – RTP	58
Figura 20. Conectividad vía conmutador.	58
Figura 21. Conectividad vía LAN-UIS.	59

Figura 22. Interfaz versión escritorio.	61
Figura 23. Conectividad en la Nube.	62
Figura 24. Interfaz versión web.	63
Figura 25. Oficina Grupo RadioGIS.	64
Figura 26. Recorrido del RTP en RadioGIS.	66
Figura 27. Foto panorámica horizontal.	67
Figura 28. Foto panorámica vertical.	68
Figura 29. Obstáculo estático.	69
Figura 30. Obstáculo en movimiento.	69
Figura 31. Robot de telepresencia versión 1.0 (RTPV1.0).	70

Lista de apéndices

APÉNDICE A.	i
APÉNDICE B.	vi
APÉNDICE C.	vii

Nota: Ver apéndices en la carpeta adjunta al CD.

Glosario

- RTP: Robot de Telepresencia.
- WS: Web Service.
- PTG: Parque Tecnológico Guatiguara.
- UIS: Universidad Industrial de Santander.
- IoT: Internet of Things.
- TP-IOT: Telepresence Platform IoT.
- IoTT: Terminal IoT.
- MQTT: Message Queue Telemetry Transport.

Resumen

Título: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELECONTROL APLICADO A UN ROBOT DE TELEPRESENCIA CON TECNOLOGÍA OMNIDIRECCIONAL*

Autor: Nelson Enrique Trillos León, nelson.trillos@radiogis.uis.edu.co;
Jorge Andrés Moreno Lozada, jorge.moreno@radiogis.uis.edu.co. **

Palabras Claves Implementación, telecontrol, robot de telepresencia, omnidireccional, IoT.

Descripción:

Este trabajo de grado se enfoca al desarrollo e implementación del sistema de telecontrol por Internet de un robot de telepresencia para facilitar la interacción entre profesores, profesionales e investigadores con un personal de investigación que se encuentre ubicados en sitios separados geográficamente. El trabajo comienza con un estudio del estado del arte que incluye los avances en telepresencia y sistemas de desplazamientos por tecnología omnidireccional, además de la plataforma de desarrollo de soluciones IoT que viene implementando el CentroTIC de la Universidad Industrial de Santander para alojar servicios que combinan software y hardware para atender diversas necesidades de las personas. Seguidamente se aborda la implementación de lo que en la plataforma se conoce como Terminal IoT y que consistió para este caso, en un primer prototipo de un robot de telepresencia con las capacidades mínimas de poder realizar desplazamiento en cualquier sentido empleando tecnología omnidireccional, sistema de movilidad para el posicionamiento de una tablet y de sensado de variables físicas como humedad y temperatura, con capacidades de conectividad IP, además de las adaptaciones para atender las necesidades identificadas. Finalmente, se usan los recursos disponibles en la plataforma IoT para producir un servicio básico que cuenta con una interfaz de usuario remota para monitoreo, control y apoyo en la nube para visualización de datos en tiempo real e implementación de futuras capacidades aplicativas en el ámbito tecnológico.

* Trabajo de grado

**Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ing. Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.
Director: Homero Ortega Boada, Ing. Electrónico, Ph. D. Codirector: Juan Pablo Moreno Acosta, Ing. Electrónico.

Abstract

Title: IMPLEMENTATION OF A TELECONTROL SYSTEM APLICATED TO TELEPRESENCE ROBOT WITH OMNIDIRECTIONAL TECHNOLOGY*

Author: Nelson Enrique Trillos León, nelson.trillos@radiogis.uis.edu.co;
Jorge Andrés Moreno Lozada, jorge.moreno@radiogis.uis.edu.co. **

Keywords Implementation, telecontrol, telepresence robot, omnidirectional, IoT.

Description:

This work focuses on the development and implementation of a telecontrol system. This telecontrol system is an internet based telepresence robot that facilitates the interactions between a professor and a group of researchers that are located in geographically separate sites. We began our work with a state of the art study in the advances in telepresence and displacement systems using omnidirectional technology, in addition, it is also shown the platform of IoT solutions that is implementing the CentrotIC of the Universidad Industrial de Santander to host services that combine software and hardware to meet the many needs of people. Next, we discussed the implementation of the IoT Terminal and what consisted, in this case, of a first robot prototype with the ability to perform displacement in any direction using omnidirectional technology, mobility system for positioning a tablet and sensing of physical variables such as humidity and temperature, with IP connectivity capabilities, also the adaptations to solve the needs identified. Finally, the resources available on the IoT platform are used to produce a basic service that has a remote user interface for monitoring, control and cloud support for real-time data visualization and implementation of future application capabilities in the technological field.

* Bachelor Thesis

**Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ing. Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.
Director: Homero Ortega Boada, Ing. Electrónico, Ph. D. Codirector: Juan Pablo Moreno Acosta, Ing. Electrónico.

Introducción

En la película Avatar de James Cameron la telepresencia apenas comenzaba a ser un sueño, hoy es quizá una necesidad para resolver grandes retos de la sociedad en áreas como medicina, centros militares, empresariales, educación, entre otros, donde se busca de alguna forma plasmar nuestra presencia de forma paralela empleando de ser posible el don de la ubicuidad. Tomemos en concreto el caso de la Universidad Industrial de Santander la cual se enorgullece de contar con uno de los parques tecnológicos más maduros del país, que acumula nuevas tecnologías, metodologías, prototipos e invenciones. Sin embargo un problema latente es la distancia entre la sede principal y el Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG). Esta distancia representa un enorme reto, pues continuamente profesores, investigadores y estudiantes enfrentan la necesidad de estar en ambas partes: la sede principal de la UIS y el PTG. Por ejemplo para pasar de una práctica de laboratorio en el PTG a una clase teórica en el campus central en cuestión de minutos resulta imposible debido a que se encuentran en lugares geográficos demasiados distantes para el cambio rápido de actividades. Para el CentroTIC, resulta muy útil establecer un puente de comunicación entre la sede principal de la UIS y el PTG, el cual reduzca los desplazamientos de quienes hacen uso de estas instalaciones y permita una mayor participación en la sede dando paso a aspectos de colaboración, desarrollo, innovación y eficiencia, abriendo camino al trabajo en paralelo entre personas que se encuentran en las diferentes instituciones empleando las TIC.

Para ello el grupo RadioGIS junto con el CentroTIC se ha planteado el reto de desarrollar una plataforma IoT que brinde soluciones a distintas áreas prestando servicios en la nube, a partir de modelos de comunicaciones predefinidos por estas dos instituciones, los cuales fueron adaptados

para el desarrollo del prototipo validando cada una de las capas que componen la totalidad del servicio IoT. Brindando la posibilidad que usuarios por medio de aplicaciones en la nube operen cualquier tipo de dispositivo que cuente con las características de lo denominado en esta tesis como terminal IoT, el cual está compuesto de hardware y software que contiene todos los desarrollos compuestos por diversos módulos: de actuadores, sensado, sistema administrable y comunicación, que permiten dar esencia y disponibilidad del equipo.

Gracias a este trabajo de grado se cuenta con un primer prototipo de un servicio de telepresencia dirigido a docentes e investigadores representado con una primera versión de un robot caracterizado por la posibilidad de realizar desplazamientos omnidireccionales, movilidad en el sistema superior para ajustar su visibilidad, y sensado de variables de su entorno, el cual es controlado desde una interfaz elemental para resolver problemas con ayuda de futuros trabajos complementarios, relacionados con la distancia que separa investigadores, docentes y profesionales de distintas áreas de su ubicación actual, destacando que este tipo de tecnología posibilita al usuario tener una experiencia interactiva y dinámica, enriqueciendo el nivel de la participación en el desarrollo de proyectos, análisis de datos, reuniones y clases, revolucionando el esquema tradicional de trabajo en los diversos espacios académicos.

1. Marco teórico.

1.1. La Telepresencia

La Telepresencia, es un campo interesante que incluye implementaciones de realidad virtual con interfaces hombre-máquina, tecnologías de la comunicación, y la robótica. La primera investigación en telepresencia se remonta a 1961 cuando Goertz, Grove y Grimson (1961) en su patente describen su invención de robot esclavo, más adelante Chatten (1972) mostró que cuando una pantalla de vídeo es fija con respecto a la cabeza del operador y la propia toma panorámica, la inclinación de la cabeza de la unidad ante funciones de giro e inclinación de la cámara hacen que el operador se siente como si estuviera físicamente presente en la ubicación de la cámara, por remota que esta se encuentre. Sheridan (1992) define la telepresencia como: visual, cinético, táctil u otra retroalimentación sensorial desde el teleoperador al operador humano que es suficiente y está representada adecuadamente tal que el humano siente que está presente en el sitio remoto, y que el teleoperador es una extensión de su propio cuerpo (p.120). Mientras que Akin, Minsky, Thiel y Kurtzma (1983) describen la telepresencia de tal manera que, "En el lugar de trabajo, los manipuladores tienen la destreza para permitir al operador realizar las funciones humanas normales. En la estación de control, el operador recibe la cantidad y la calidad de la retroalimentación sensorial suficiente para proporcionar una sensación de presencia real en el lugar de trabajo". Estas dos definiciones hacen hincapié en el control y la retroalimentación sensorial entre el operador humano y el teleoperador o el manipulador en el sitio de trabajo.

Draper, Kaber y Usher (1998) disciernen con tres definiciones de la telepresencia: la sencilla, la cibernética, y la experimental. En la definición simple, la telepresencia se refiere a la capacidad de operar en un entorno a través del ordenador, en la definición cibernética, la telepresencia es un índice de la calidad de la interfaz hombre-máquina, y en la definición empírica, la telepresencia es

un estado mental en el que un usuario se siente físicamente presente dentro del entorno a través del ordenador.

Schloerb (1995) define la telepresencia desde el punto de vista de un observador, “una persona es objetivamente presente en un entorno real que está separada físicamente de la persona en el espacio” (p.65). Él usa tres tipos de especificaciones para que las definiciones más precisas: (1) un conjunto de tareas, (2) una transformación impuesta a la salida de control del operador humano y de la información sensorial, (3) una transformación en la región presencial. El grado de telepresencia objetivo es igual a la probabilidad de completar con éxito una tarea especificada. Schloerb también propuso que la telepresencia perfecta ocurre cuando el operador no puede hacer una discriminación virtual a partir de la realidad.

Siguiendo este marco, hay dos puntos de vista en la aplicación de telepresencia para la comunicación interpersonal: la mirada del usuario y la opinión del participante. A vista del usuario, la telepresencia permite proyectarse a sí mismo en otro lugar, mediante el control de un robot o sistema de telepresencia. Mientras tanto, el usuario percibe la inmersión de la retroalimentación sensorial desde el entorno remoto creado por telepresencia. Como se señaló anteriormente, el "participante" puede tener dos funciones en la aplicación de telepresencia en la comunicación interpersonal: como un observador y un dialoguista. A la vista del participante en calidad de observador, la telepresencia proporciona los elementos necesarios para el usuario y el robot, de modo que el participante lo reconoce como una representación del usuario. A la vista del participante como dialoguista, esta telepresencia también permite el diálogo entre el participante y el usuario mediante la transmisión de audio, vídeo, gestos, movimientos físicos, y otra

información ambiental entre el participante y el usuario, que son útiles para una comunicación efectiva.

Para la comunicación interpersonal, la telepresencia se diferencia de la videoconferencia tradicional mediante el establecimiento de un verdadero sentido de espacio compartido entre personas geográficamente remotas. Mediante la duplicación de la experiencia humana en tres dimensiones a través de encuentros reales cara a cara, la telepresencia es una manera asombrosamente diferente y ventajosa respecto a la telecomunicación.

Actualmente, Según Kristoffersson, Coradeschi y Loutfi (2013) las aplicaciones los robots de telepresencia se pueden clasificar en tres grandes esferas, las cuales son: (1) Asistencia para personas mayores en su casa, donde el robot desempeña tareas tales como interacción social y vigilancia; (2) entornos de oficina, en los cuales el robot de telepresencia permite a trabajadores que se encuentran ubicados en sitios distantes participen y cooperen activamente de las reuniones, y (3) en el campo de la medicina, gracias a que los robots de telepresencia se convierten en una extensión del profesional de salud y permite una consulta de manera oportuna. En la actualidad es común ver robots comerciales en hospitales empleados para cuidado y monitoreo de pacientes como es el caso del VGo, un robot con aplicaciones en el área de la telemedicina (Lee, 2013), el PadBot P2 es un robot enfocado en la interacción persona a persona para exhibición, ventas de productos, conferencias de negocios, entre otras usos, destacando su sistema de reconocimiento de rostro o de clientes (PADBOT, s.f). De igual forma se encuentra el robot Double que ya está en su versión 2, con mejor estabilidad, opción de aumento de velocidad en desplazamientos y una cámara con mayor de visión con un lente gran angular de hasta 150 grados dando la posibilidad al operario de tener siempre vista del suelo (Ackerman, 2016). En el entorno educativo se ven robots dictando

clases, más específicamente tutorías en inglés, donde un profesor nativo de forma remota enseña empleando todo un sistema de telepresencia (Kwon, Koo, & Kim, 2011), para el área de seguridad se están adecuando robots operados desde la comodidad de un centro de control, estos realizan rutas predefinidas y tienen acoplados sensores detectores de incendios (Schultz, Nakajima, & Nomura, 2002); mapeo de entornos acotados como edificaciones por medio de una tarjeta de desarrollo, un sistema operativo y un sensor de placa de desarrollo Arduino, el sistema operativo Robot (ROS) y un Kinect (Caverzasi, Saravia, & Micolini, 2014). Otro ejemplo es EDGAR, el robot de telepresencia antropomórfico diseñado e implementado para permitir expresiones sociales ya que el usuario opera de manera remota cabeza, torso, manos y hasta los dedos (Ching, Yue, & Lee, 2016), inclusive ya existen robots de telepresencia controlados por medio de los movimientos de la cabeza con ayuda de una unidad de medición inercial (Shchekoldin, Shevyakov, & Dema, 2017), dando la posibilidad a personas que carecen de movilidad en sus extremidades superiores o inferiores de ejercer acciones.

Para resumir, tal como se define por Akin et al. (1983) y Sheridan (1992) la telepresencia proporciona una conexión entre un usuario (o el "operador") y un participante distante o un entorno (mundo real o del mundo generada por ordenador), para llevar a cabo las interacciones sociales (interacciones usuario-participante) o tareas específicas (las interacciones del usuario con el medio ambiente). En esta investigación, estamos interesados en la aplicación de un robot de telepresencia para la comunicación y la interacción entre el "usuario" y el "participante" en un sitio remoto; en tales aplicaciones, el participante remoto no es sólo un "observador", como en la definición de Schloerb (1995), sino también un "dialoguista" en la comunicación interpersonal.

1.2. Modelo de Capas de la Plataforma IoT UIS.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación interno de la Universidad Industrial de Santander, fondo 1971 "PLATAFORMA IOT PARA EL DESARROLLO DE SERVICIOS INTELIGENTES DE APOYO AL MONITOREO AMBIENTAL" como un servicio de IoT aplicado para soluciones de interacción de persona a persona (P2P). Por tal razón, el desarrollo del servicio de Telepresencia se diseña e implementa basado en el modelo de capas mostrado en la Figura 1.

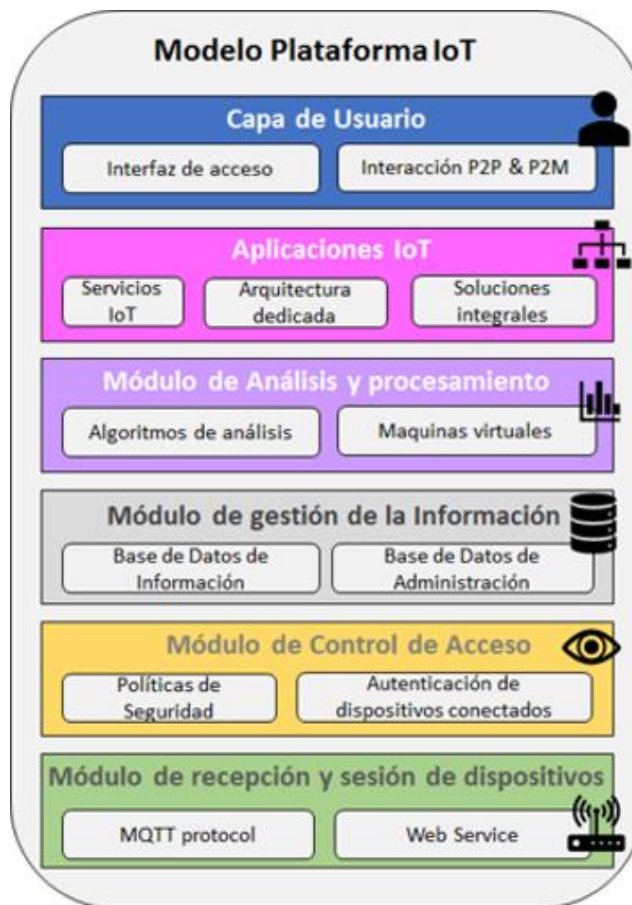


Figura 1. Modelo plataforma IoT UIS.

Al compartir los mismos recursos físicos y de infraestructura junto a otros servicios de IoT, resulta un reto tanto para quienes elaboran las soluciones, así también ocurre para los administradores encargados de mantener activo los servidores junto a bases de datos y redes.

La plataforma cuenta con 6 capas fundamentales que definen de manera global cualquier solución IoT, muy parecida al modelo tradicional OSI pero contando a su vez con ciertos ajustes que dan un enfoque más cercano a la realidad y necesidades que se desea abordar. A continuación, se realiza una descripción de cada capa del modelo Plataforma IoT UIS.

1.2.1. Capa de usuario: Esta capa representa a todos los actores que intervienen en las aplicaciones IoT, convirtiéndoles en parte de la dinámica del servicio como tal. Además, incluye los impactos que pueden generar sobre los usuarios, la interacción entre usuarios y usuarios con dispositivos.

1.2.2. Aplicaciones IoT: La capa de aplicaciones IoT proporciona a los usuarios los servicios alojados en ella, haciendo uso de las capas inferiores. Logrando capturar, recopilar, interpretar y actuar ante determinada información; detectando así brechas de conectividad, manejando información y cumpliendo requisitos específicos definidos previamente.

1.2.3. Módulo de análisis y procesamiento: Esta capa está diseñada para las aplicaciones IoT que demanden recursos de procesamiento y espacio para el análisis de los datos enviados desde los dispositivos. Está pensada para las soluciones en donde los dispositivos envían

los datos y una máquina virtual la recibe, los procesa y se almacenan en la base de datos. También es empleada para procesar datos almacenados directamente en la nube.

1.2.4. Módulo de gestión de la información: Es la sección encargada de gestionar la información proveniente desde los dispositivos y los usuarios. La base de datos está implementada para ser consultada por diferentes métodos, a partir del servicio, del usuario asignado y de los dispositivos registrados. Este módulo se compone básicamente de dos bases de datos georeferenciadas, la primera dedicada a registrar los datos enviados de cada uno de los dispositivos y sus procesamientos, y la segunda de administración en donde se registran los movimientos que llevan los distintos tipos de usuarios, actividades y acciones, credenciales etc.

1.2.5 Módulo de control de acceso: Proporciona un medio para intercambiar datos a través de medios locales comunes. Permite a las capas superiores acceder a los medios usando técnicas como tramas y el control sobre ubicación de los datos en los medios, su recepción y detección de errores. En esta capa se encuentran los protocolos de seguridad y las políticas implementadas para cada servicio. Dependiendo de cada servicio será más o menos relevante mantener una conexión blindada de posibles ataques o de vulnerabilidades que puedan ser explotadas, además de comprometer la integridad de los recursos de servidor y los dispositivos usados.

1.2.6. Módulo de recepción y sesión de dispositivos: Este módulo se encarga de realizar la interfaz entre la plataforma y cada dispositivo registrado, está compuesto esencialmente de WS y el protocolo estándar MQTT para Internet de las cosas.

1.3. Robots Omnidireccionales

Los robots omnidireccionales son aquellos que cuentan con movilidad en cualquier dirección, desde un punto arbitrario en un plano sin tener que rotar previo al comienzo del desplazamiento. Esta condición de omnidireccionalidad se debe a que la disposición de las ruedas especiales Mecanum, las cuales brindan al robot tres grados de libertad en el plano (Rojas, 2005). Al indicar cualquier desplazamiento, se refiere a todas las combinaciones de traslaciones (incluyendo las laterales) y las rotaciones. Así, un vehículo omnidireccional es aquel que puede ejecutar movimientos en cualquiera de las tres componentes, traslaciones frontales y reversas, laterales y de rotación, a partir de un estado de inmovilidad (West & Asada, 1992).

1.3.1. Ruedas Mecanum: estas ruedas se basan en la idea de poseer una componente activa que provee tracción en una dirección y una componente pasiva en otra dirección. La rueda tipo Mecanum (ver Figura 2) posee rodillos con una rotación de cierto ángulo, por lo general de 45° , respecto de la circunferencia exterior de la rueda.

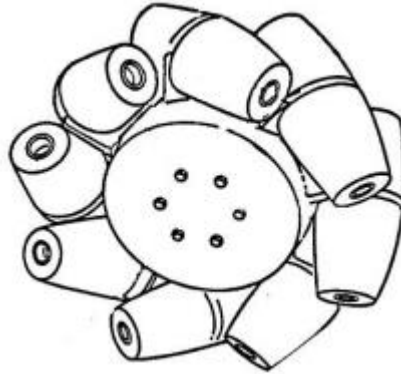


Figura 2. Rueda omnidireccional tipo Mecanum. Adaptado de Dickerson y Lapin (1991).

Debido a la disposición de los rodillos en la rueda principal, la fuerza emitida sobre la rueda, en la dirección de ésta, produce una fuerza sobre la superficie que se descompone en dos vectores de fuerza: uno perpendicular al eje del rodillo y el segundo paralelo al eje del rodillo (ver Figura 3) (Jae-Bok & Kyung-Seok , 2006).

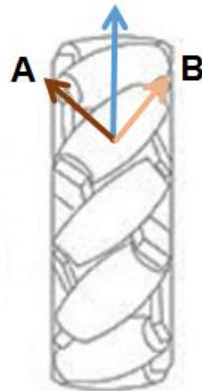


Figura 3. Vista superior de la descomposición de fuerzas ejercidas sobre rueda Mecanum. Adaptada de Taheri, Qiao y Ghaeminezhad (2015).

A partir de la descomposición de la fuerza en las componentes A y B en la figura 3, se observa que solamente la componente B brinda un momento al robot ya que la componente A brinda

únicamente un momento al rodillo produciendo su rotación. Esto concluye en que el momento que esta rueda brinda al vehículo posee una dirección con un ángulo respecto de la rueda (Woods, 2006).

En la Figura 4 se puede observar la disposición de estas ruedas en un robot de cuatro ruedas. Controlando individualmente la rotación de cada una de las ruedas, mediante la combinación lineal de las fuerzas resultantes, se puede obtener cualquier dirección de desplazamiento de forma instantánea.

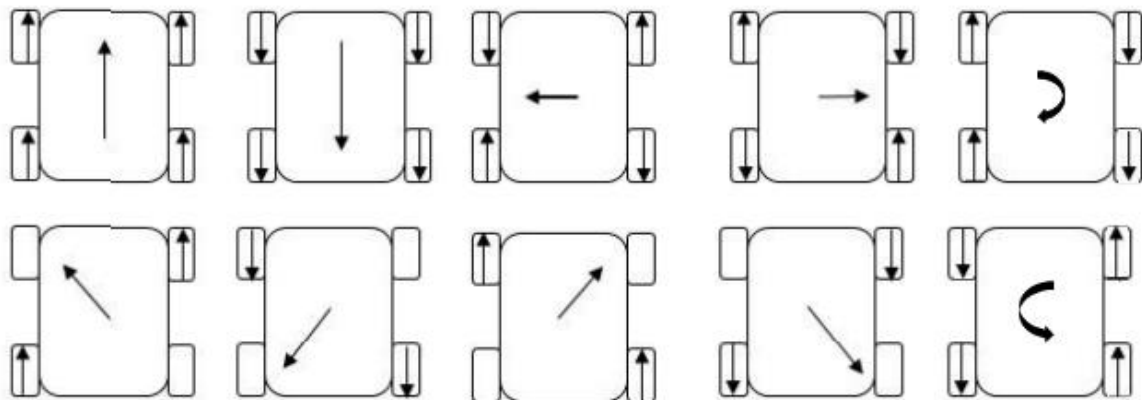


Figura 4. Combinaciones para obtener cualquier dirección de desplazamiento. Adaptada de Taheri et al. (2015).

1.3.2. Control cinemático de robots omnidireccionales: En esta sección se describirán métodos para obtener una configuración de velocidades en las ruedas, para lograr un determinado movimiento (Control Cinemático). Según Craig (1989) la cinemática es la ciencia del movimiento que trata el movimiento sin tomar en cuenta las fuerzas que lo causan. Dentro de la ciencia de la

cinemática se estudia la posición, velocidad, aceleración y otras derivadas mayores de las variables de posición (con respecto al tiempo o alguna(s) otra(s) variable(s)). Por lo tanto, el estudio de la cinemática de manipuladores refiere a todas las propiedades basadas en la geometría y el tiempo del movimiento. Las relaciones entre estos movimientos y las fuerzas y torques que los causan es un problema atacado por la dinámica. A continuación, se describen las ecuaciones de velocidad y dirección de la plataforma, para un estudio detallado del modelo matemático referirse a Taheri et al. (2015). La Figura 5 muestra los parámetros y sistemas de velocidad para un robot omnidireccional de cuatro ruedas.

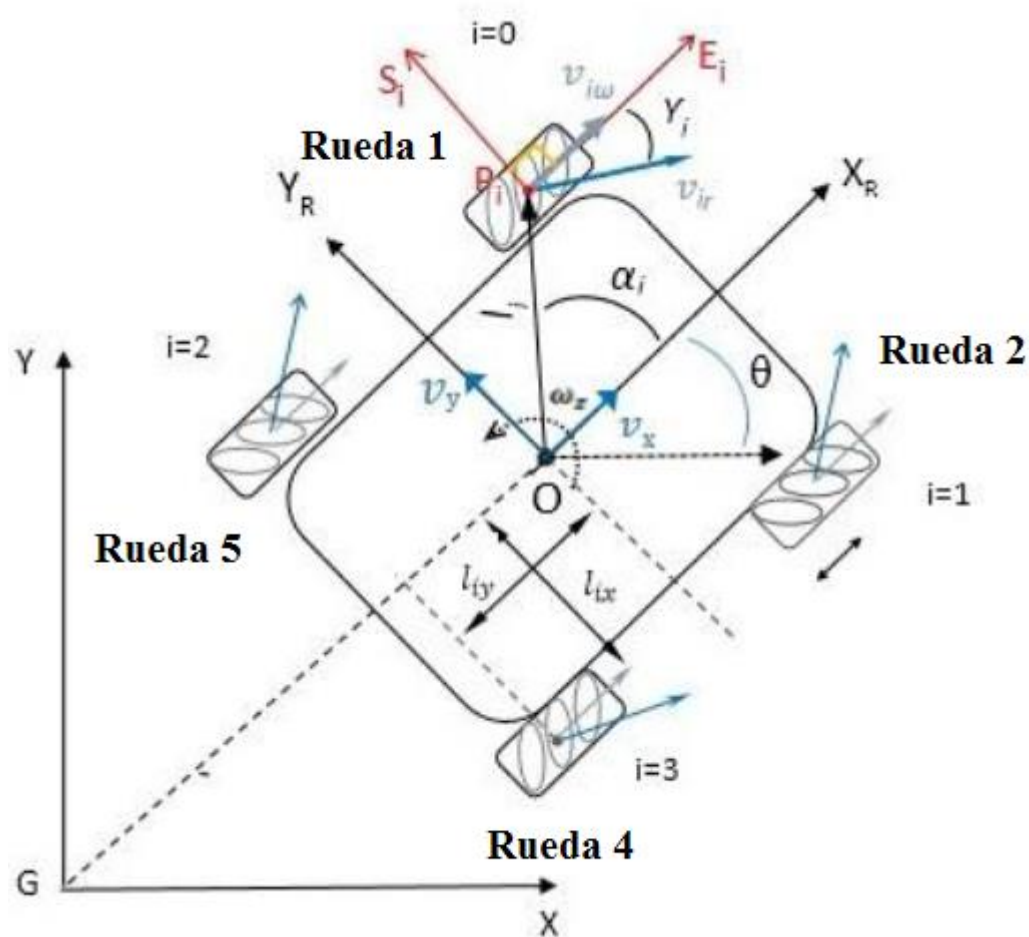


Figura 5. Configuración y posicionamiento de las ruedas. Adaptada de Taheri et al. (2015).

De la figura 5 se pueden identificar las siguientes variables:

x, y, θ , posición del robot (x, y) y es orientado con un ángulo θ (El ángulo entre X y X_R); $X_G Y_G$, sistema inercial; x, y son las coordenadas del punto de referencia O en la base inercial; $X_R Y_R$, base del robot; sistemas de coordenadas cartesianas asociadas al movimiento de la plataforma; l_{ix} , la mitad de la distancia entre las ruedas delanteras. l_{iy} , la mitad de la distancia entre la rueda delantera y la rueda trasera; l_i , Distancia entre el robot y el centro de la base O ; r_i , Indica el radio de la rueda (i hace referencia a la distancia del centro de la rueda al centro del rodillo); ω_i [rad/s], velocidad angular de la rueda; $v_{i\omega}$ [m/s], $i = 0, 1, 2, 3 \in R$, es el vector de velocidad correspondiente a las revoluciones de la rueda; v_x, v_y [m/s] – Velocidad lineal del robot; ω [rad/s] – Velocidad angular del robot.

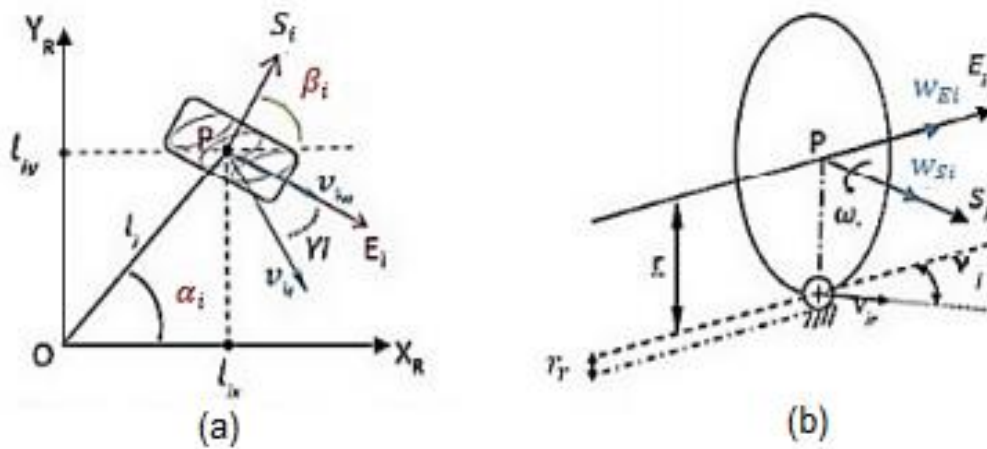


Figura 6. Parámetros de la rueda. Adaptada de Taheri et al. (2015).

Velocidad longitudinal:

$$v_x(t) = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) \cdot \frac{r}{4} \quad (1)$$

Velocidad transversal:

$$v_y(t) = (-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) \cdot \frac{r}{4} \quad (2)$$

Velocidad Angular:

$$\omega_x(t) = (-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \cdot \frac{r}{4(l_x + l_y)} \quad (3)$$

La velocidad resultante de su dirección en un eje coordenado estacionario se logra mediante las ecuaciones 4 y 5.

$$\rho = \tan^{-1} \left(\frac{v_y}{v_x} \right) \quad (4)$$

$$v_R = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (5)$$

1.4. Sistemas Embebidos

Los sistemas embebidos hacen referencia a los circuitos electrónicos digitales capaces de ejecutar operaciones de computación para alguna necesidad o propósito específico (Arriarán, 2015), por medio de un conjunto de trabajo y recursos entre hardware y software. Entre sus características se destacan: procesamiento concurrente, paralelo y distribuido, fiabilidad, robustez y bajo consumo, por ello entre sus aplicaciones más destacadas se encuentra el control y administración de robots autónomos (Azcura et al., 2011). Para poder ejecutar, almacenar, accionar y programar el sistema

embebido, como arquitectura básica el sistema se compone por un procesador, una memoria, periféricos, software, algoritmos, que en conjunto logran conformar un sistema administrable (Heath, 2003).

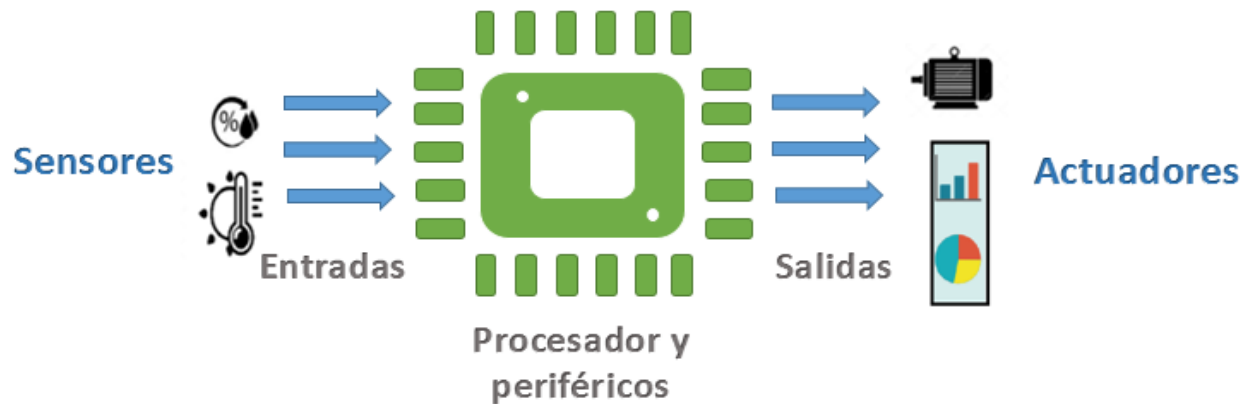


Figura 7. Sistema embebido con periféricos.

En los sistemas embebidos se asocian elementos externos que complementan su labor u objetivo específico, a estos elementos se le conocen como periféricos los cuales se clasifican en periféricos de entrada y de salida, particularmente en este caso se denominarán sensores y actuadores correspondientemente (Figura 7).

1.4.1. Sensores: Los sensores son dispositivos que detectan acciones externas del medio donde se está usando, el sensor se puede definir como “la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento en cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos” (Areny, 2003, p.3).

Los sensores se pueden clasificar en moduladores (activos) y (generadores) pasivos, es decir que requieren una fuente externa de excitación y los que no la requieren, como en el caso de sensores de temperaturas la RTD y los termopares respectivamente.

Entre algunos de los sensores clásicos se pueden resaltar los de temperatura, humedad, presión, movimiento, proximidad, caudal, luz, velocidad, entre muchos más que permitan la medición de magnitudes físicas (Mayné, 2003).

1.4.1.1. Sensores de temperatura: Los sensores de temperatura realizan cambios en señales eléctricas a partir de las variaciones de temperatura. Los sensores de temperatura se clasifican en 3 tipos, los termopares que generan un diferencial de tensión en el extremo contrario de la unión de dos metales diferentes, dependiendo del rango de temperatura que se desee medir se eligen las diferentes uniones de metales, entre los más comunes se encuentra cromel con alumel, cromel con constantán, hierro con constantán y cobre con constantán (Novodvoretz).

Los resistivos o RTD (Resistance Temperature Detector), los cuales dependiendo de la variación de temperatura cambia la resistividad del conductor, para la fabricación de los RTD se emplean conductores como níquel, cobre y platino, destacando este último que a pesar de ser los más costosos son los más usados gracias a su alta linealidad y mayor estabilidad (Novodvoretz, s.f).

Los termistores son semiconductores electrónicos con una resistencia que varía en función de la temperatura, estos tipos de sensores a diferencia de los RTD carecen de linealidad, se clasifican dependiendo del coeficiente de resistividad, que puede ser positivo PTC (Positive Temperature Coefficient), o negativo NTC (Negative Temperature Coefficient). En los PTC al aumentar la

temperatura aumenta la resistencia, mientras que en los NTC al aumentar la temperatura disminuye la resistencia (Novodvoretz, s.f).

1.4.1.2. Sensores de Humedad: La humedad hace referencia a las moléculas de agua presentes en una sustancia o ambiente de estado gaseoso o sólido, este parámetro influye en algunos procesos científicos e ingenieriles por ello es necesario monitorear y en algunos casos controlar procesos en función a esta variable (Glaría & Kouro, 2001).

Entre los sensores de humedad más destacados se encuentran los resistivos y capacitivos, los primeros hacen referencia a un polímero que cambia su resistencia eléctrica por medio de un polímero que absorbe el agua, y los capacitivos se componen de un condensador con dieléctrico una lámina no conductora la cual varía su constante dieléctrica en función de la humedad relativa del ambiente. (Mayné, 2003).

1.4.1.3. Sensores de proximidad: Estos sensores miden la distancia relativa entre el sensor y los objetos del ambiente, entre los sensores de proximidad se destacan los infrarrojos, los de sonar, y los de choque y contacto.

Los sensores infrarrojos (IR) expresan de forma binaria la existencia o ausencia de un obstáculo, esto lo hacen emitiendo una señal infrarroja y sienten si ocurre retorno significativo de luz, de ser así indica la presencia de un objeto. Su rango de medición depende de la frecuencia de luz empleada y de la sensibilidad del receptor, el cual puede ir desde algunos centímetros a varios metros (Murphy, 2000).

Los sensores de sonar o también conocidos como sensores de ultrasonido, miden la distancia mediante el uso del sonido enviado a diferentes frecuencias según la aplicación. Estos sensores emiten un sonido y miden el tiempo en que se demora en retornar luego de un rebote, utilizando

ese tiempo y la velocidad del sonido en el medio se calcula la distancia entre el sensor y el objeto contra el cual se reboto la señal generada (Murphy, 2000).

Por último y no menos importante se encuentran los sensores de choque y contacto, que como su nombre lo indica son sensores que básicamente al entrar en contacto con una superficie u objeto, 2 láminas o capas de material conductor se unen y provocan que un circuito se mantenga cerrado o en conducción (Murphy, 2000).

1.4.2. Actuadores: Todo mecanismo creado con el fin de realizar alguna acción determinada dispone de actuadores, “Un actuador es un dispositivo con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo sobre algún elemento mecánico, a partir de la transformación de energía” (Corona, Abarca y Mares, 2014, p.25). Según Corona et al. (2014) los actuadores se pueden clasificar en tres tipos, neumáticos, hidráulicos y eléctricos (ver Figura 8).

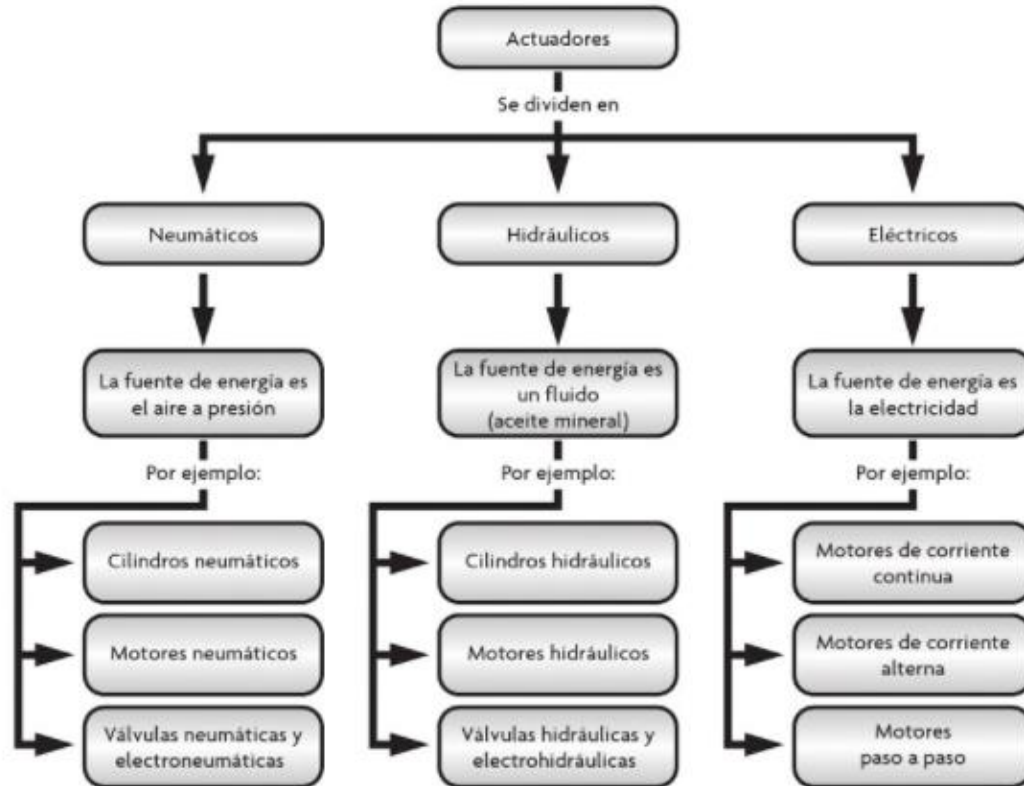


Figura 8. Clasificación de los actuadores. Adaptada de Corona et al. (2014).

1.4.2.1. Actuadores neumáticos: Los actuadores neumáticos generan trabajo mecánico de movimiento rectilíneo o rotatorio por medio de la energía que se acumula del aire comprimido. Los actuadores neumáticos se activan al comprimir aire lo cual fuerza las paredes del recipiente cerrado que lo contiene y por la presión que se genera se genera una fuerza sobre un elemento mecánico. Están clasificados en actuadores lineales (cilindros), actuadores de giro (motores) y válvulas de accionamiento neumático. Cabe destacar que estos actuadores son eficaces, fáciles de instalar y de realizar mantenimiento (Corona et al., 2014).

1.4.2.2. Los actuadores hidráulicos: funcionan de forma similar a los neumáticos, con la única diferencia que, en lugar de comprimir aire, se mantiene a presión algún líquido de aceite mineral

a presión. Entre sus ventajas con respecto a los actuadores neumáticos se encuentra mayor precisión y movimientos más suaves debido a que el aceite mineral tiene bajo valor de compresibilidad a diferencia del aire que es altamente compresible, por esta propiedad en sistemas hidráulicos se pueden manipular presiones superiores y poseen propiedades de auto-lubricación y robustez, sin embargo son los sistemas más complejos a la hora de su instalación debido a que necesitan equipos de filtración, de eliminación de aire, sistema de refrigeración y unidades de distribución (Corona et al., 2014).

1.4.2.3. Actuadores eléctricos: Los actuadores que transforman la energía eléctrica en mecánica se conocen como actuadores eléctricos, son los más comunes y disponibles en el mercado debido a que funcionan con energía proveniente de la red de distribución eléctrica, estos dispositivos al circular una corriente eléctrica por un filamento conductor que está ubicado en un campo de acción magnético, el filamento es afectado por una fuerza electromagnética que induce un desplazamiento perpendicular a las líneas de acción del campo magnético. Al aumentar el número de filamentos se generan espiras las cuales en conjunto y al pasar corriente por ellas, adquieren propiedades magnéticas que accionan el movimiento rotacional del actuador debido a la interacción entre imanes o electroimanes, provocando así la energía mecánica (Corona et al., 2014).

Los actuadores eléctricos se pueden clasificar según su fuente de excitación, destacando así los de corriente continua o directa (CD), los de corriente alterna (CA) y los actuadores paso a paso. En los primeros, el flujo de corriente circula en un solo sentido, están compuestos fundamentalmente de un rotor y estator; el rotor proporciona la fuerza sobre el objeto mecánico y giro del actuador, mientras que el estator está fijo en el dispositivo y proporciona el magnetismo para inducir la fuerza electromotriz. La velocidad de rotación de dichos actuadores varía en función

de la tensión o voltaje de alimentación y el torque es proporcional a la corriente que recorre las espiras del motor (Corona et al., 2014).

Los motores AC se suministran de energía que varía u oscila periódicamente, generalmente de forma senoidal. En estos motores la velocidad varía dependiendo de la frecuencia en la que opera el voltaje aplicado al actuador (Corona et al., 2014).

El motor paso a paso avanza cierta cantidad de grados del eje dependiendo de alguna señal de control, es decir transforma una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos. Los motores paso a paso se pueden clasificar en tres tipos, los de imán permanente, de reluctancia variable y los híbridos (Corona et al., 2014).

2. Objetivos del proyecto.

2.1. Objetivo general:

Desarrollar un sistema de control inalámbrico para un robot de telepresencia con desplazamiento omnidireccional, el cual represente a una persona ubicada en la UIS, como si estuviese en un laboratorio del Parque Tecnológico Guatiguará u otro lugar similar.

2.2. Objetivos específicos:

- Definir los parámetros y características técnicas del producto a partir de las necesidades de los posibles usuarios.
- Desarrollar e implementar un algoritmo para el control de desplazamiento de una plataforma omnidireccional.
- Realizar el montaje del robot conquistando la posibilidad de ejecutar desplazamientos en 3 grados de libertad, en el plano 2D.
- Implementar un sistema de control del movimiento de manera local con medios inalámbricos de enlace entre la plataforma del robot y el usuario.
- Desarrollar una aplicación o interfaz gráfica elemental que permita al usuario tomar decisiones básicas de forma remota.

3. Identificación de la necesidad.

El proyecto principalmente está enfocado al telecontrol de un robot de telepresencia con desplazamientos omnidireccionales dirigido a personal académico universitario, por lo cual se toma como población de estudio a docentes e investigadores, a los cuales se les realizó cortas entrevistas con el fin de extraer las necesidades que surjan a dichos interesados, por ello se decide emplear un método ágil (ver Figura 9) conocido como historia de usuarios para saber los principales requisitos de los futuros beneficiarios.



Figura 9. Metodología para extraer requisitos.

En la Figura 10 se muestra el formato empleado para registrar las historias de usuarios obtenidas, el cual está compuesto por el nombre y número de la historia, la prioridad que tendrá en el proyecto siendo 1 la más importante y 5 la menos relevante, el riesgo en el desarrollo el cual se califica de forma cualitativa (Alto, medio y bajo), la iteración que hace referencia al orden en el que se realizó la ejecución de las historias en el proyecto, el programador responsable es la persona a cargo de realizar dicha historia, en la descripción se escribe el resumen de la entrevista realizada al usuario, y en la validación se documenta el alcance que tendrá el proyecto con respecto a la descripción realizada.

Historia de Usuario	
Numero:	Usuario:
Nombre historia:	
Prioridad en proyecto:	Riesgo en desarrollo:
	Iteración asignada:
Programador responsable:	
Descripción:	
Validación:	

Figura 10. *História de usuário. Adaptada de (Scrum Manager BoK, 23 March 2014).*

En la Tabla 1 se sintetizan los requisitos extraídos de las historias de usuarios (ver apéndice A) plasmados por los interesados, este primer prototipo se cumplieron con todos los requisitos expuestos, cabe destacar que en la última historia llamada “apertura de puertas” se deja como una extensión para futuros trabajos, sin embargo en su respectiva validación en el apéndice A se aconseja como realizar este hito.

Tabla 1.

Síntesis de las historias de Usuarios.

Historia	Iteración	Prioridad	Riesgo en desarrollo	Validación
Desplazamiento ágil en espacios angostos	1	1	Alto	Total
Indicador de nivel de tensión en la batería	8	4	Bajo	Total
Detector de obstáculos	1	2	Medio	Total
Manual de usuario	7	2	Bajo	Total
Movimiento de la Tablet	2	1	Medio	Total
Medición de variables físicas	3	3	Bajo	Total
Transportar equipo de laboratorio	1	3	Bajo	Total
Pizarra compartida	5	5	Bajo	Total
Autenticación de ingreso	4	3	Medio	Total
Amplificador de audio	6	5	Bajo	Total
Apertura de puerta	NA*	NA*	NA*	NA*

Nota: *No aplica.

4. Implementación del servicio de Telepresencia

4.1. Modelo de capas

El propósito principal en el diseño de un modelo que promueva soluciones basadas en IoT para el apoyo de tareas que así lo requieran, consiste en establecer un marco de entendimiento entre los diferentes actores, aumentando así el número de personas y entidades que pueden contribuir en dicho campo. La Figura 11 muestra el modelo denominado TP-IoT, el cual fue adaptado del modelo de plataforma IoT UIS descrito en el capítulo 1.2 y hace referencia al robot de telepresencia. La siguiente es una descripción del modelo capa por capa:



Figura 11. Modelo de TP- IoT.

4.1.1. Capa de usuarios: Muestra la necesidad de asegurar el compromiso de las diferentes autoridades y actores involucrados, ya sean desarrolladores, docentes, investigadores o alumnos.

Esta capa es de vital importancia en el comienzo del desarrollo ya que se consideran las necesidades reales de los usuarios.

4.1.2. Capa terminal IoT (IoTT): Esta capa contiene todos los desarrollos que cuenten con las características propias de un terminal IoT, como lo son: Sensores y actuadores, Sistema administrable, Aplicaciones locales e Interfaz de comunicación.

4.1.3. Capa de acceso: Esta capa abarca las tecnologías de comunicación necesarias para conectar las soluciones de la capa Terminal IoT a Internet, tales como: Xbee, Wi-Fi, 3G, 4G o cableado mediante un puerto Ethernet.

4.1.4. Capa de la nube: Es la encargada de brindar los recursos que pueden ofrecer valor agregado a la solución como: bases de datos de alta velocidad para ampliar significativamente el alcance y la usabilidad de aplicaciones IoT, procesamiento y análisis de datos y gestión de dispositivos remotos.

4.1.5. Capa de aplicaciones: .Hace referencia a las aplicaciones que permiten a los usuarios, que están conectados en la nube, acceder a la información o tomar el control de las tecnologías en la Capa Terminal IoT.

4.2. Arquitectura

La arquitectura TP-IoT mostrada en la Figura 12, es una plataforma de nube administrada que permite a los dispositivos conectados interactuar con facilidad y seguridad con las aplicaciones en la nube y otros dispositivos. TP IoT es capaz de procesar y enviar acciones a puntos de enlace desde la plataforma hacia dispositivos de manera fiable y segura.

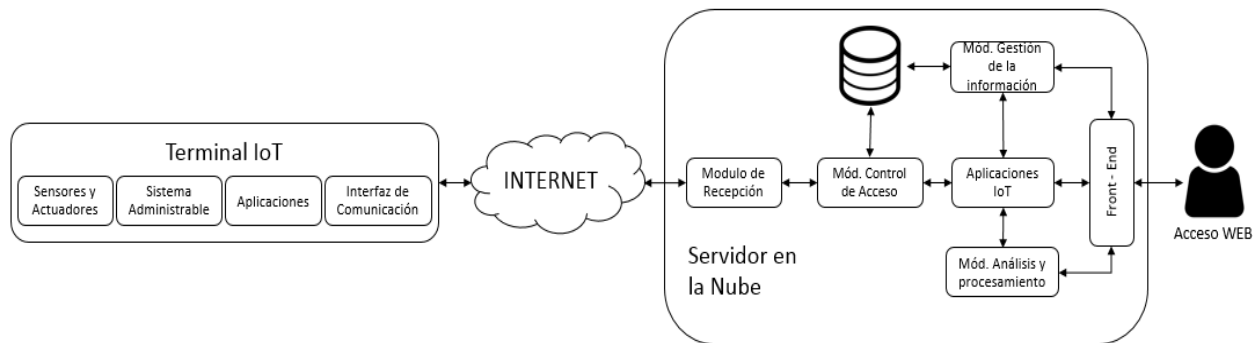


Figura 12. Arquitectura del Servicio de Telepresencia.

La arquitectura propuesta en este trabajo de grado está influenciada en gran parte por proyectos y tecnologías Open Source, dicha arquitectura contiene diversos módulos los cuales pueden ser identificados como tecnologías específicas.

4.2.1. Módulo de dispositivos: El módulo inferior de la arquitectura es el de dispositivos. Existen diversos tipos de dispositivos IoT, pero para ser considerados Terminales IoT, es necesario que cuenten con ciertos módulos, tales como: Sensores y Actuadores, Sistema Administrable, Aplicaciones e Interfaz de Comunicación. Cada dispositivo necesita de una identidad, es decir un

identificador único grabado en el dispositivo y de preferencia el ID proporcionado por el hardware no debe ser modificable.

4.2.2. Módulo de comunicaciones: Soporta la conectividad de los dispositivos. Existen múltiples protocolos para la comunicación entre los dispositivos y la nube HTTP/HTTPS, MQTT 3.1 y CoAP. En el caso particular de este proyecto se emplearon protocolos HTTPS, el cual significa "Hypertext Transfer Protocol Secure", está basado en el HTTP y se utiliza para dar mayor seguridad a la hora de hacer transacciones sensibles. Está soportado sobre los servicios de conexión TCP/IP, es decir un proceso servidor escucha en un puerto de comunicaciones TCP, y espera las solicitudes de conexión de los clientes. Una vez que se establece la conexión, el protocolo TCP se encarga de mantener la comunicación y garantizar un intercambio de datos libre de errores. La figura 13 muestra el protocolo de inicio empleado.

HTTP se basa en sencillas operaciones de solicitud/respuesta. Un cliente establece una conexión con un servidor y envía un mensaje con los datos de la solicitud. El servidor responde con un mensaje similar, que contiene el estado de la operación y su posible resultado. La figura 14 muestra el protocolo de acciones empleado.

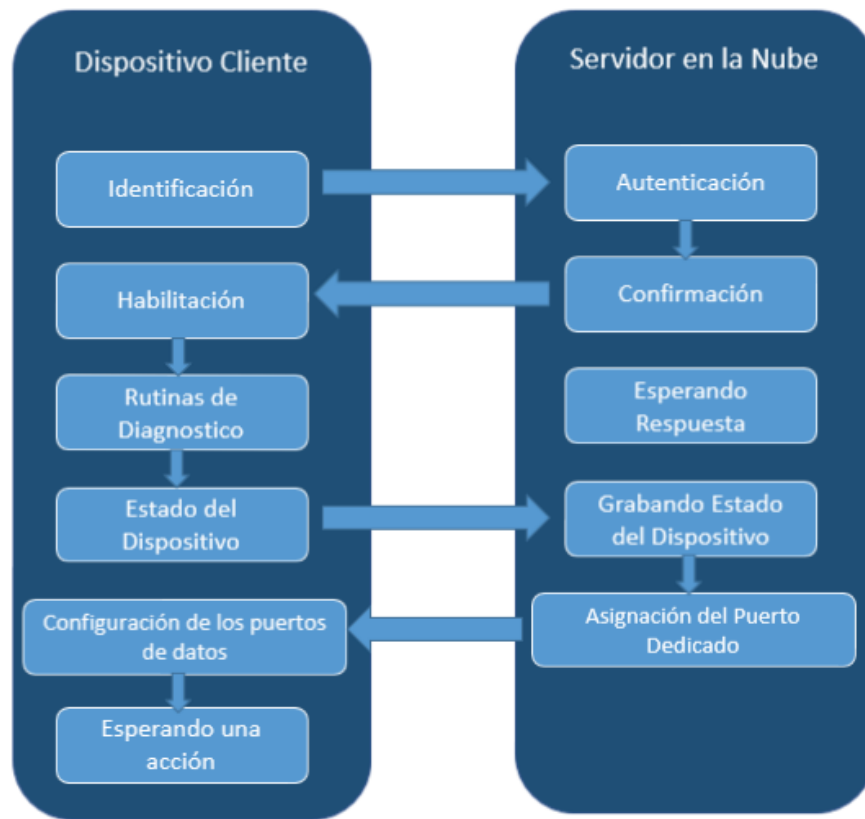


Figura 13. Protocolo de Inicio.



Figura 14. Protocolo de Acciones.

4.2.3. Módulo de recepción: Es la encargada de recibir la trama que contiene la información de control que especifica el protocolo de capa enlace de datos para la topología lógica específica y de los medios de uso.

4.2.4. Módulo de control de acceso: El control de acceso aplicado por el sistema es un mecanismo basado en etiquetas. El sistema asocia una etiqueta de sensibilidad con todos los procesos que se crean al ejecutar una aplicación. En general, los procesos no pueden almacenar información o comunicarse con otros procesos, a menos que la etiqueta del destino sea igual a la etiqueta del proceso.

4.2.5. Módulo de gestión de la información: Permite el almacenamiento, modificación y extracción de la información en la base de datos, proporciona herramientas para agregar, modificar, analizar o eliminar datos. También proporciona métodos para mantener la integridad de los datos, la administración del acceso de usuarios y recuperar información si el sistema se corrompe.

4.2.6. Módulo de aplicaciones IoT: Este módulo integra los módulos de control de acceso y gestión de la información. Es quien se encarga de sintetizar la información que ve el usuario y a su vez direccionar las órdenes recibidas a través de la plataforma.

4.2.7. Módulo de análisis y procesamiento: En el caso particular de este proyecto no se hace uso de esta capa, sin embargo se deja disponible para futuras versiones.

4.3. Representación

La figura 15, muestra una representación del servicio de telepresencia visto de manera global, el usuario puede acceder a la plataforma TP -IoT desde el campus de la universidad o cualquier otro punto con acceso a internet. Una vez el usuario ingresa sus credenciales, es verificado y autorizado por la plataforma para operar remotamente el terminal IoT ubicado en el PTG. Cabe resaltar que la interacción es persona a persona lo cual reduce la brecha entre la comunicación entre docente y estudiantes, sin importar la ubicación de cada uno de los participantes y la distancia que los separa.

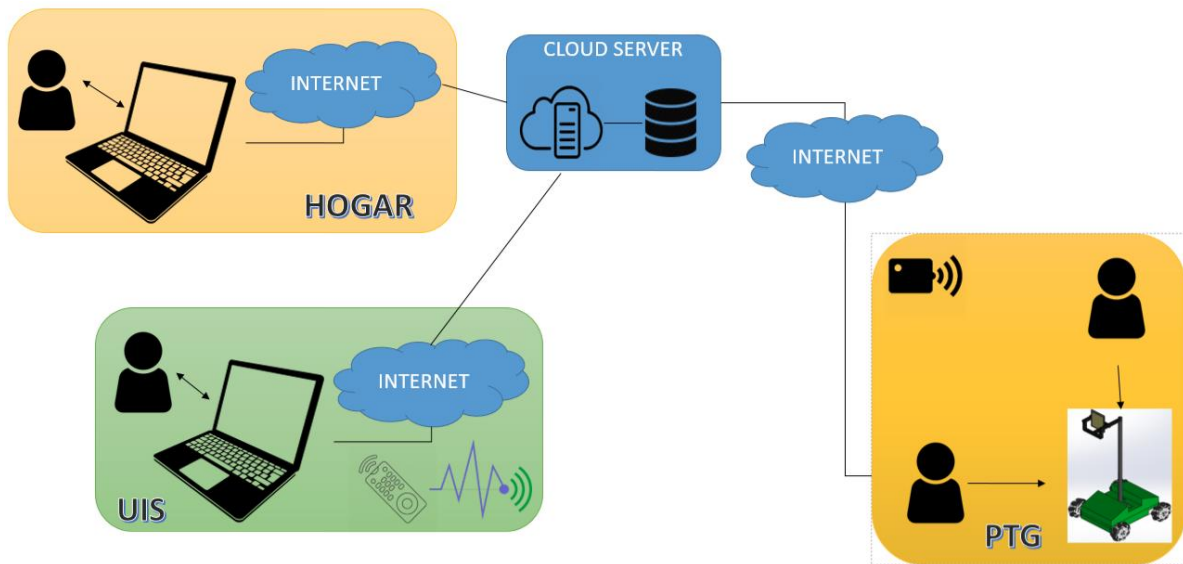


Figura 15. Representación del Servicio de Telepresencia.

5. El terminal IOT

En este capítulo se describen los dispositivos que componen el terminal IoT planteado como solución, el cual hace referencia a los componentes del robot de telepresencia, tanto en hardware y software que permiten la interconectividad con las redes de comunicación inalámbricas, específicamente las relacionadas al internet. Por medio de este terminal se presenta la opción de controlar y sensor los dispositivos asociados en la red además de presentar la posibilidad de realizar servicios de procesamiento en la nube.

El Robot de telepresencia es telecontrolado por un usuario ubicado en cualquier ordenador con acceso a internet, por medio de la interfaz desarrollada dota al usuario de las capacidades para ejecutar eficazmente desplazamientos omnidireccionales elementales (avance, retroceso, desplazamientos laterales, diagonales y giros sobre su eje central), movimientos en el sistema de posicionamiento de la Tablet, además permite al usuario fácil acceso a herramientas online y monitoreo en video del entorno donde está el robot; el robot emplea telemetría con el fin de enviar sensado de magnitudes físicas como temperatura y humedad del ambiente donde este circulando.

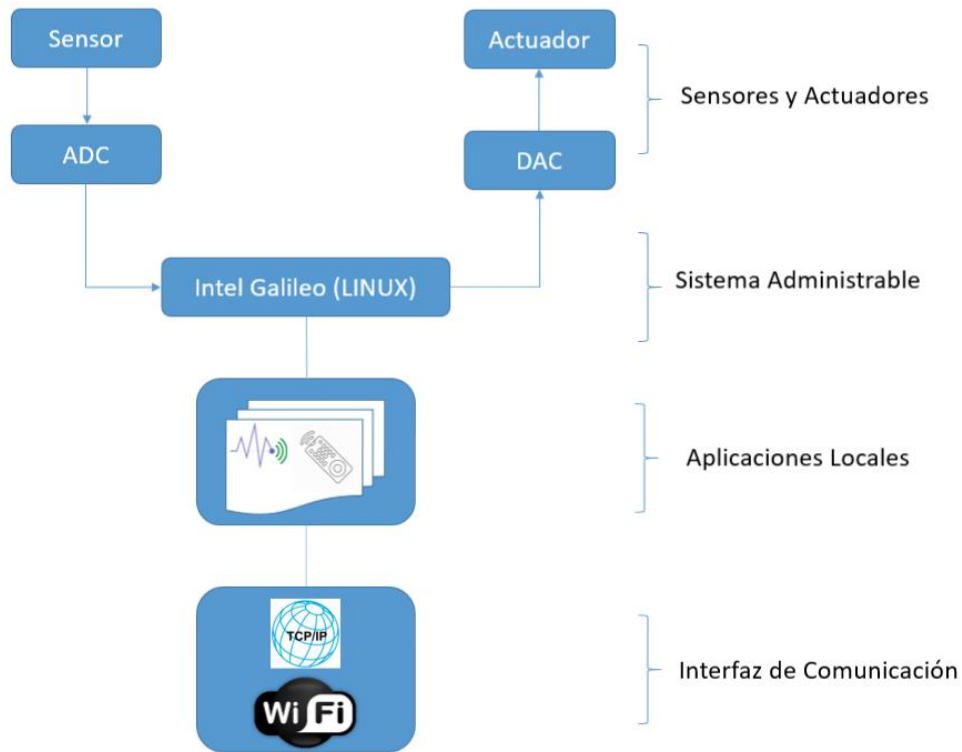


Figura 16. Modelo del IoTT.

A continuación se muestra una descripción de los elementos que componen el modelo de capas del RTP visto como terminal IoT (ver figura 16):

5.1. Interfaz de comunicación

Debido al acelerado crecimiento en el Internet of Things (IoT), el cual abarca una amplia variedad de casos de uso, desde electrónica en el hogar hasta máquinas industriales y sensores están siendo conectados a internet de forma inalámbrica. Existen numerosos estándares implementados en el mercado, sin embargo, no hay uno que se imponga de forma contundente, debido a que estos se extienden en múltiples bandas de frecuencia y utilizando diferentes protocolos de comunicación.

Se decide emplear tecnología Wi-Fi, basada en el estándar IEEE 802.11, debido a sus prestaciones como transmisión MIMO (Multiple Input, Multiple Output), uso simultáneo de las bandas 2,4 [Ghz] y 5,4 [Ghz] (espacio radioeléctrico más limpio y libre de interferencias de otras redes) y velocidad de transferencia va desde los 54 hasta los 300 [Mbps]. Esta tecnología surgió como reemplazo inalámbrico para el popular estándar de cable Ethernet IEEE 802.3. Aunque la tecnología Wi-Fi principalmente define la capa de enlace de una red local, está integrada de forma nativa con la pila TCP/IP, que cuando las personas dicen que usan Wi-Fi implícitamente implican que también usan un TCP/IP para conectividad de Internet.

5.2. Aplicaciones

Se desarrollaron dos aplicaciones básicas en lenguaje de programación Python, la cuales permiten operar el IOTT. La primera de ellas se denomina "Telecontrol" y es la encargada de interpretar las acciones que ingresa el usuario por medio de la plataforma tanto para el control de los desplazamientos omnidireccionales del robot como del sistema de movilidad de la Tablet. La segunda aplicación denominada "Telemetría" es la encargada de adquirir los datos de los sensores una vez se han digitalizado para su posterior adecuación y envío hacia la nube.

5.3. Sistema administrable

El sistema administrable es el encargado de controlar todos los periféricos de entrada y de salida del robot (Motores, servomotores y sensores), también se relaciona estrechamente con la adquisición y transmisión de datos desde la nube hacia el robot y viceversa, este módulo está

dirigido por un sistema embebido más específicamente por una tarjeta Intel Galileo la cual está basada en el procesador Intel Quart SoC X1000 con una arquitectura 32-bits a 400Mhz. Esta tarjeta posee integrado conectividad *Ethernet* e incluye un módulo para tarjetas Micro SD mediante el cual se puede instalar un sistema operativo embebido basado en Linux, gracias a esto es posible desarrollar infinidad de proyectos gracias al uso de lenguajes de programación de alto nivel como Python, Perl y varios en shell scripting. La tarjeta también permite ser programada mediante la IDE Intel Galileo facilitando la migración de código en Arduino a este entorno y la compatibilidad entre tarjetas y librerías para Arduino; la tarjeta posee periféricos USB y UART para extender las posibilidades de interacción con los demás dispositivos (Intel , s.f.).

Como se explicó en la sección 5.2 para este sistema embebido, se desarrolló un algoritmo en Python el cual permite la transmisión de los comandos de forma remota para realizar los desplazamientos y movimientos del robot, así como la lectura de los diferentes sensores acoplados a este con el fin de enlazar el servidor con la tarjeta; a pesar que la sección de comunicación IP entre la tarjeta Intel y el usuario es programado en Python aprovechando las características que aporta el tener un sistema embebido en Linux, el sistema para ejecutar los actuadores y sensores del robot están programados por la IDE de Arduino para las tarjetas Intel debido a los desarrollos y librerías que ya se han venido empleando en este entorno para el control de los puente H de la familia Sabertooth.

Tabla 2.

Configuración de los comandos para el control del robot.

Tecla	Acción del robot	Motor Rueda 1	Motor Rueda 2	Motor Rueda 3	Motor Rueda 4	Servo-sensor adelante	Servo-Tablet Horizontal	Servo-Tablet Vertical
w	Adelante	Giro 1	Giro 1	Giro 1	Giro 1	90°/ON	NA	NA

s	Atrás	Giro 2	Giro 2	Giro 2	Giro 2	90°/ ON	NA	NA
a	izquierda	Giro 2	Giro 1	Giro 1	Giro 2	0°/ ON	NA	NA
d	derecha	Giro 1	Giro 2	Giro 2	Giro 1	180°/ ON	NA	NA
q	Diagonal izquierdo adelante	NA	Giro 1	Giro 1	NA	45°/ON	NA	NA
e	Diagonal derecho adelante	Giro 1	NA	NA	Giro 1	135°/ ON	NA	NA
z	Diagonal izquierdo atrás	Giro 2	NA	NA	Giro 2	90°/ OFF	NA	NA
x	Diagonal derecho atrás	NA	Giro 2	Giro 2	NA	90°/ OFF	NA	NA
l	giro derecha	Giro 1	Giro 2	Giro 1	Giro 2	45°/ ON	NA	NA
k	giro izquierda	Giro 2	Giro 1	Giro 2	Giro 1	135°/ ON	NA	NA
y	Tablet arriba	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Giro 2
h	Tablet abajo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Giro 1
g	Tablet izquierda	NA	NA	NA	NA	NA	Giro 2	NA
j	Tablet derecha	NA	NA	NA	NA	NA	Giro 1	NA
p	Alto	off	off	off	off	off	off	off

Nota: Para saber la posición de la rueda en la base omnidireccional ver la Figura 5. En giro 1 (La rueda gira hacia adelante), y en giro 2 (La rueda gira hacia atrás).

5.4. Sensores y actuadores

La composición periféricos de entrada y de salida del RTP con respecto a su hardware hacen referencia a los sensores y actuadores se puede resumir y explicar en 3 módulos, el módulo de sensado, el módulo de actuadores y el módulo de alimentación o potencia.

5.4.1. Módulo de sensado: En este módulo se realiza todo lo correspondiente a la medición de variables externas tanto para monitoreo como para ejercer acciones de control; gracias a este módulo el usuario puede saber el estado tanto del robot, como de algunas variables en su entorno como temperatura, humedad y posicionamiento del mismo por medio de cámaras.

Este módulo está compuesto por un sensor de temperatura tipo termopar de referencia LM35, uno de humedad relativa DHT11 los cuales se conectan directamente a la etapa de control ya que debido a sus características de linealidad no necesitan de una etapa de adecuación del circuito.

Adicionalmente posee un sistema de detección de obstáculos el cual está compuesto por un sensor de proximidad que se ajusta apuntando automáticamente por medio de 1 actuador según la dirección de desplazamiento hacia donde se dirija el robot (180° desplazamientos frontales), los cuales si detectan un obstáculo detienen inmediatamente la movilidad del robot y se le informa al usuario que lo está controlando. Esto debido a que en el desplazamiento se puede presentar obstáculos que interfieran el paso del robot por debajo del nivel visible de la cámara.

5.4.2. Módulo de actuadores: Cabe destacar que todos los actuadores empleados en el robot son eléctricos (servomotores y motores). En este módulo se destaca la base omnidireccional compuesta por 4 motores DC con sus respectivas ruedas de tecnología omnidireccional, los servomotores de la estructura superior en donde se ubicará la Tablet y el servomotor empleado como ayuda en el sensor de proximidad para extender la gama de posibilidad a la hora de sensar obstáculos.

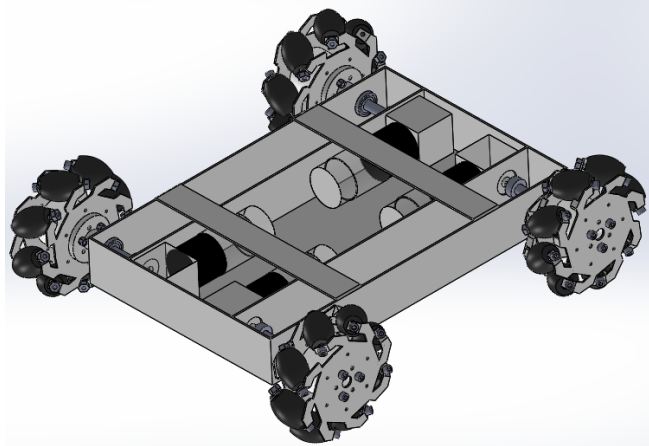


Figura 17. Base omnidireccional.

Para poder efectuar los múltiples desplazamientos característicos que ofrece el sistema omnidireccional se debe disponer de una estructura electromecánica de tecnología omnidireccional como el de la Figura 17, compuesto esencialmente de una base de soporte, 4 ruedas omnidireccionales, 4 actuadores independientes (motores DC). Este sistema debe ser capaz de cambiar el sentido de giro de cada rueda de forma independiente, por ello se emplea un puente H; el puente H que se utiliza es uno de la familia Sabertooth dual, que como su nombre lo indica traen dos puente H en uno, es un equipo robusto donde en sus modelos de fabricación soportan corrientes desde 5[A] hasta 50 [A], posee un sistema de aislamiento entre módulo de control y el de potencia, además dispone de una amplia gama de configuración a la hora de programar el cambio de giro de los motores (PWM, de forma análoga, digital o serial), la forma como se va a abastecer el sistema, entre otras opciones, todo esto dependiendo de la forma en que se organicen los dip-switches que posee (dimensionengineering, 2007).

Como este puente H es dual es necesario utilizar 2 para controlar el sentido de giro de los 4 motores de forma independiente. Para el control de la tarjeta se decide emplear comunicación de forma serial debido a los avances publicados por el y a que se emplean menos recursos de hardware en este caso se emplearían solo 2 pines del sistema embebido, uno para la transmisión serial y el otro para hacer paro de emergencia, a diferencia si se emplea el cambio de giro de forma digital, analógica o por PWM, donde se necesitarían 4 pines para controlar cada motor de forma independiente.

Para permitirle al usuario mejor visibilidad en el entorno donde se desplaza el robot, se realiza el control por PWM de dos servomotores acoplados a una estructura con el fin de ajustar la rotación de 60° tanto vertical como horizontal para la Tablet adaptada en el robot. Adicionalmente como ya fue descrito en la sección 5.5 (sensores y actuadores), se cuenta con un sistema de detección de obstáculos que da posición a un sensor de proximidad dependiendo de la orden de desplazamiento que ejecute el usuario, este posicionamiento es ejercido por medio de 1 servomotor ubicado de forma estratégica para que tenga un rango de giro de 180°, y así poder abarcar más posibilidades de sensado para los desplazamientos empleados por el robot.

5.4.3. Módulo de alimentación: El módulo de alimentación es el encargado de suministrar la potencia necesaria para todos los demás módulos que comprende el robot, como sistema base se tiene una batería de polímero de litio (LiPo) 4S a 20000[mAh], la cual alimenta directamente los dos puente H de los motores (referente al módulo mecánico), sin embargo para alimentar los demás dispositivos (sistema embebido, actuadores, sensores y el modem) es necesario emplear sistemas

reguladores de tensión y convertidores DC-DC para ajustar el nivel de voltaje a los requisitos de los demás sistemas de actuadores, sensado y tarjeta de control.

Para proteger el sistema de suministro de energía y los dispositivos asociados a este llegado el caso el sistema de actuadores se forceó o que ocurra algún cortocircuito en la electrónica, se instala un arreglo de fusibles el cual se abra e interrumpa el flujo de corriente llegado el caso algún sistema pida más de la que está establecida para su normal funcionamiento. El sistema consta de 3 fusibles, uno en serie conectado directamente entre el interruptor de encendido del robot a la batería de LiPo, y los otros 2 protegiendo el sistema de movilidad superior para la Tablet y el sistema administrable. Para más información ver el manual de usuario (apéndice C sección 4.1).

5.5. Prueba del IoTT

Una vez construido y configurado el Terminal IoT se realizan pruebas con el fin de su validación y caracterización, en la Figura 18 se puede apreciar la arquitectura circuital del IOTT descrito en este capítulo, destacando que las fuentes de 9[V] y de 5[V], son generadas a través de un regulador y un convertidor DC-DC respectivamente, los dispositivos a los cuales no se les señala algún tipo de alimentación (LM35, DHT11, HC-SR04 y servomotor) también están siendo abastecidos por el convertidor.

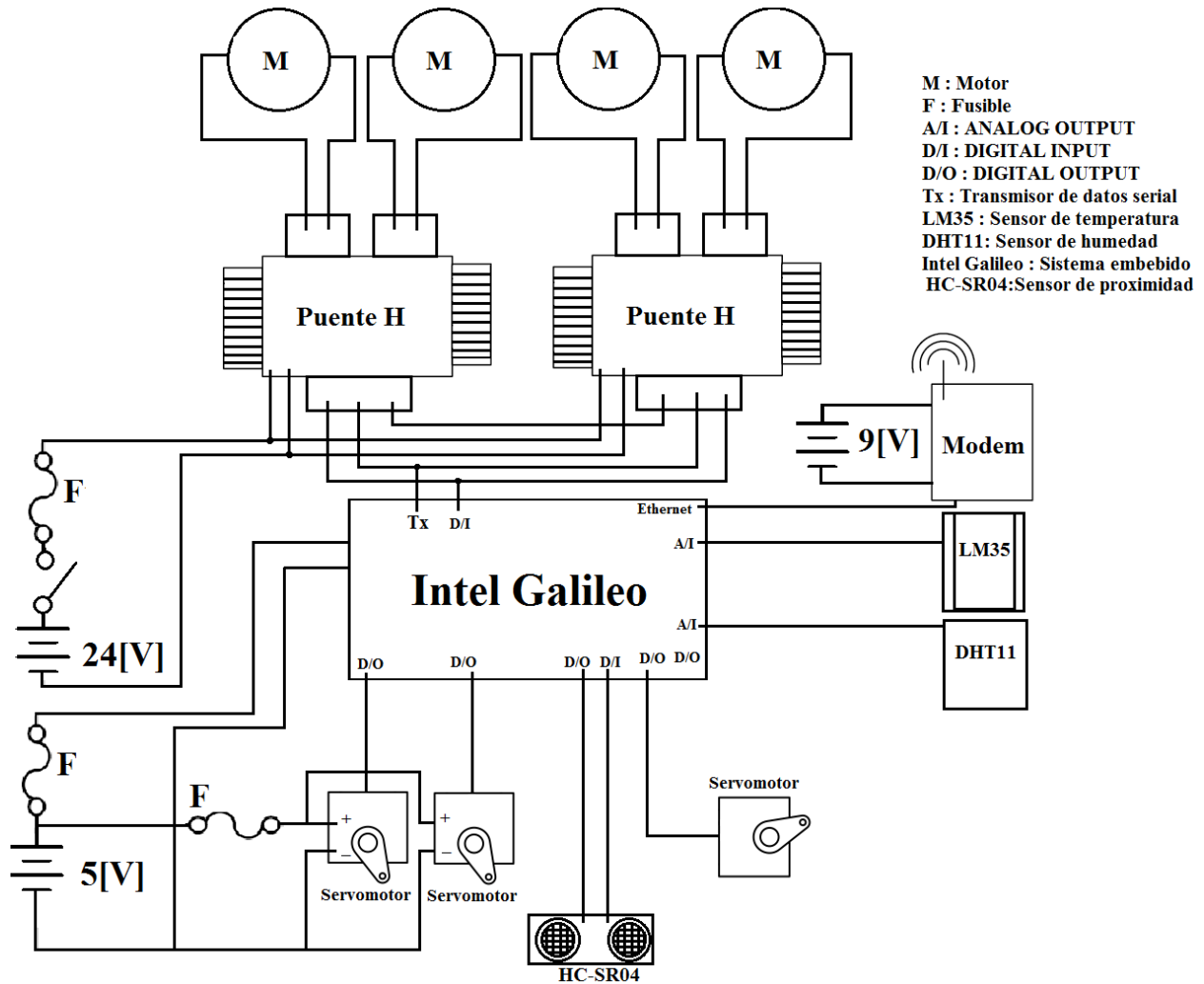


Figura 18. Arquitectura circuital.

Empleando las fórmulas 1-5 del movimiento cinético de un robot de tecnología omnidireccional se validan los múltiples desplazamientos, garantizando que las direcciones de rotación de las ruedas y las velocidades correspondan a las configuraciones características. Para ello con un tacómetro se procede a medir las velocidades de las ruedas en 2 escenarios, cuando todas se activan y cuando solo dos se activan (desplazamientos diagonales).

Al activarse las 4 ruedas para los desplazamientos, se obtiene un promedio de revoluciones por minuto de 67,6 en cada rueda, y al activarse solo 2 ruedas 146,7[rpm].

$$1[rmp] = \frac{2\pi}{60} \left[\frac{rad}{s} \right] \quad (6).$$

Aplicando la ecuación 6, teniendo en cuenta los valores de las rpm se tiene que 67,6 [rpm] =7,079[rad/s] y 146,7 [rpm] = 15,3623 [rad/s]. Con estos valores se procede a llenar la siguiente tabla con el fin de ver si se cumplen los sentidos de giro de las ruedas, las velocidades resultantes y ángulo de desplazamiento del robot con respecto a la configuración de ruedas Mecanum de tecnología omnidireccional.

Tabla 3.

Giros y velocidades en las ruedas.

Desplazamiento	Rueda 1 [rad/s]	Rueda 2 [rad/s]	Rueda 3 [rad/s]	Rueda 4 [rad/s]	Vx [m/s]	Vy [m/s]	Wx [m/s]	Angulo [°]
Adelante	7,079	7,079	7,079	7,079	0,539	0	0	0
Atrás	-7,079	-7,079	-7,079	-7,079	-0,539	0	0	0
izquierda	-7,079	7,079	7,079	-7,079	0	0,539	0	90
derecha	7,079	-7,079	-7,079	7,079	0	-0,539	0	-90
Diagonal izquierdo adelante	0	15,362	15,362	0	0,585	0,585	0	45
Diagonal derecho adelante	15,362	0	0	15,362	0,585	-0,585	0	-45
Diagonal Izquierdo atrás	-15,362	0	0	-15,362	-0,585	0,585	0	-45
Diagonal derecho atrás	0	-15,362	-15,362	0	-0,585	-0,585	0	45
giro derecha	7,079	-7,079	7,079	-7,079	0	0	-1,468	0
giro izquierda	-7,079	7,079	-7,079	7,079	0	0	1,468	0

Nota: Para saber la posición de la rueda en la base omnidireccional ver la Figura 5. Los valores de Wx se calcularon teniendo en cuenta Ly=21[cm] y Lx=15,75[cm].

Comparando los resultados de esta tabla con los de la tabla del artículo de Taheri et al. (2015) (ver tabla en el apéndice B) se verifica que los sentidos de giro corresponden a los característicos del sistema omnidireccional.

Para calcular el consumo del prototipo se realizaron mediciones de corriente teniendo en cuenta distintos escenarios como se ve en la Tabla 4.

Tabla 4.

Consumo del robot.

Estado del robot	Corriente[A]	Potencia[W]
robot en reposo	0,7	10,64
movimiento sistema superior	1,16	17,632
movimiento 4 ruedas	2,9	44,08
movimiento en diagonales	2,83	43,016
todo el sistema actuando	2,92	44,384

Nota: Los cálculos de potencia se realizaron teniendo en cuenta que el nivel de voltaje de la batería era de 15,2[V].

Teniendo en cuenta que la batería usada para el robot es de LiPo 4s de 20000mAh, si el robot se trabaja linealmente utilizando todo su sistema en funcionamiento tendría una autonomía de 6,849 horas de uso.

6. Implementación del servicio IoTT

Como primera medida se conectan de forma directa tanto el PC como el RTP para comprobar que al enviar los comandos por medio del monitor serial el robot realice las acciones asociadas de forma correcta (ver figura 19).



Figura 19. Conexión directa PC – RTP

Comprobado el correcto funcionamiento de la programación del robot, se procede a calibrar la velocidad de los actuadores (motores y servomotores). Una vez se ha garantizada la operabilidad del robot se procede a añadir un conmutador, el cual permite acceder a el IOTT de forma local y cableada por medio de ethernet (ver figura 20).

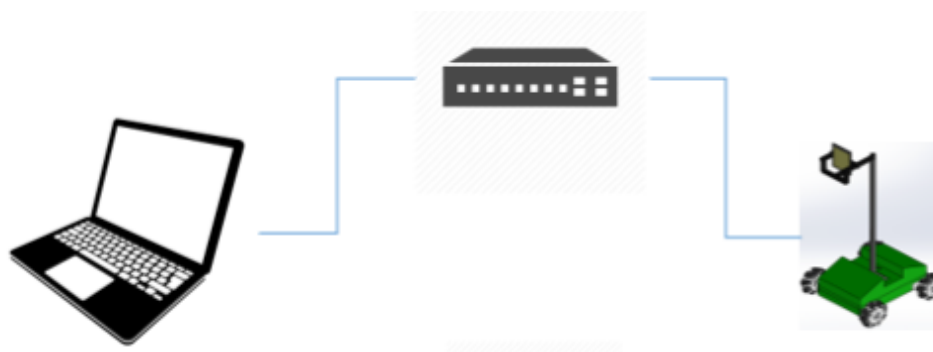


Figura 20. Conectividad vía conmutador.

El siguiente paso es cargar las aplicaciones desarrolladas previamente en la carpeta raíz del sistema administrable y que proveen al cliente de herramientas para establecer conexión con el servidor de manera automática.

Una vez conquistado el funcionamiento de forma local, se decide hacer un paso intermedio entre la comunicación del PTG y cualquier punto. Este consiste en que el robot funcione accediendo desde cualquier punto del campus central UIS (ver figura 21), para esto es necesario modificar las direcciones IP y puertos TCP por unos establecidos dentro de la red de la universidad.

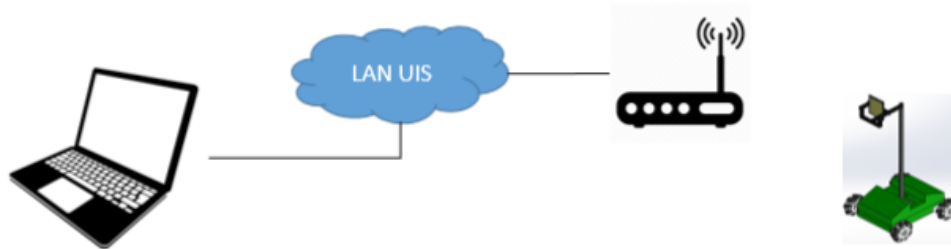


Figura 21. Conectividad vía LAN-UIS.

Se elaboró una GUI (Interfaz Gráfica de Usuario) que integra tres módulos, telecontrol, telemetría y video conferencia, la cual cuenta con dos versiones: Escritorio y Plataforma IoT. Inicialmente se desarrolló una aplicación Python que permite visualizar los datos que entrega la cámara IP, la lectura de los sensores y además permite controlar tanto la base omnidireccional como el soporte de la Tablet. Con el fin de crear una GUI agradable e intuitiva al usuario, se empleó la herramienta QT Designer, que a su vez permite conectar aplicaciones GUI Python a Bases de datos.

El sistema cuenta con una aplicación en Python, la cual se comunica con el microcontrolador a través de protocolo de redes TCP empleando sockets. El microcontrolador es el encargado de controlar tanto los movimientos de la base como los servos y además procesar las diferentes señales provenientes de los sensores.

El programa de control del robot de telepresencia posee una interfaz intuitiva y fácil de usar. La interfaz cuenta con una ventana inicial (figura 22(a)) creada con el fin de brindar seguridad para el ingreso a la plataforma para su posterior validación y direccionamiento a la segunda ventana (figura 22(b)). La segunda ventana posee la interfaz de telecontrol y telemetría, cuenta con 3 elementos con los cuales el usuario puede interactuar. El elemento número uno es la recepción de la cámara instalada en el robot, en el segundo elemento el usuario ingresa comandos vía teclado para controlar el robot remotamente y el tercer elemento ubicado en la parte inferior corresponde a un indicador de telemetría en el cual se muestran las lecturas de los sensores de temperatura, humedad y de obstáculos cada segundo; la temperatura se muestra en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), la humedad relativa se referencia en porcentaje (%).



Figura 22. Interfaz versión escritorio.

Finalmente, se emplea el sistema de forma remota permitiendo así que el usuario opere al IOTT ubicado en el PTG, sin importar su ubicación de acceso (ver figura 23), para esto es necesario cambiar la dirección IP por una dirección pública.

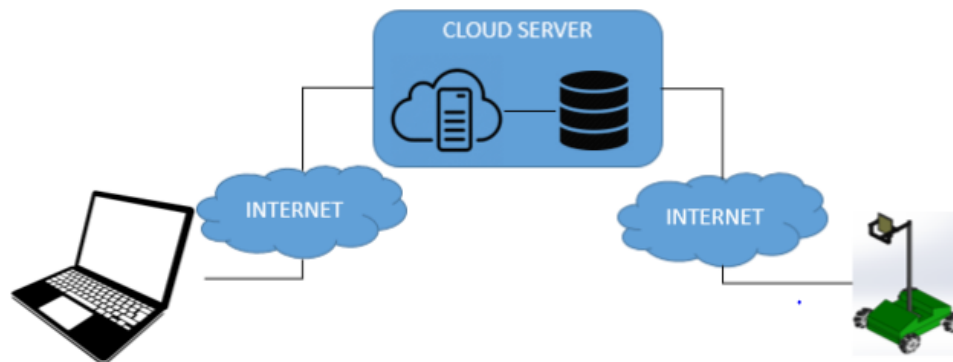


Figura 23. Conectividad en la Nube.

En la figura 24 se muestra la GUI final, alojada en el servidor del grupo de investigación RadioGIS. En la parte superior izquierda se encuentra la aplicación de videoconferencia. En la parte superior derecha se muestran los comandos para controlar los desplazamientos del RTP. En la zona inferior izquierda están ubicados los movimientos del sistema superior para la Tablet del RTP, cabe resaltar que tanto los movimientos como los desplazamientos pueden ingresarse de forma táctil en caso de acceder mediante un dispositivo móvil, o por medio de teclado si el usuario ingresa desde un ordenador, las teclas asociadas son las descritas en la tabla 2, también se puede visualizar la lectura de los sensores acoplados del robot en tiempo real. Al igual que en la versión de escritorio el usuario debe ingresar sus credenciales para acceder a la plataforma. Para más información ver el manual de usuario (apéndice C sección 6).

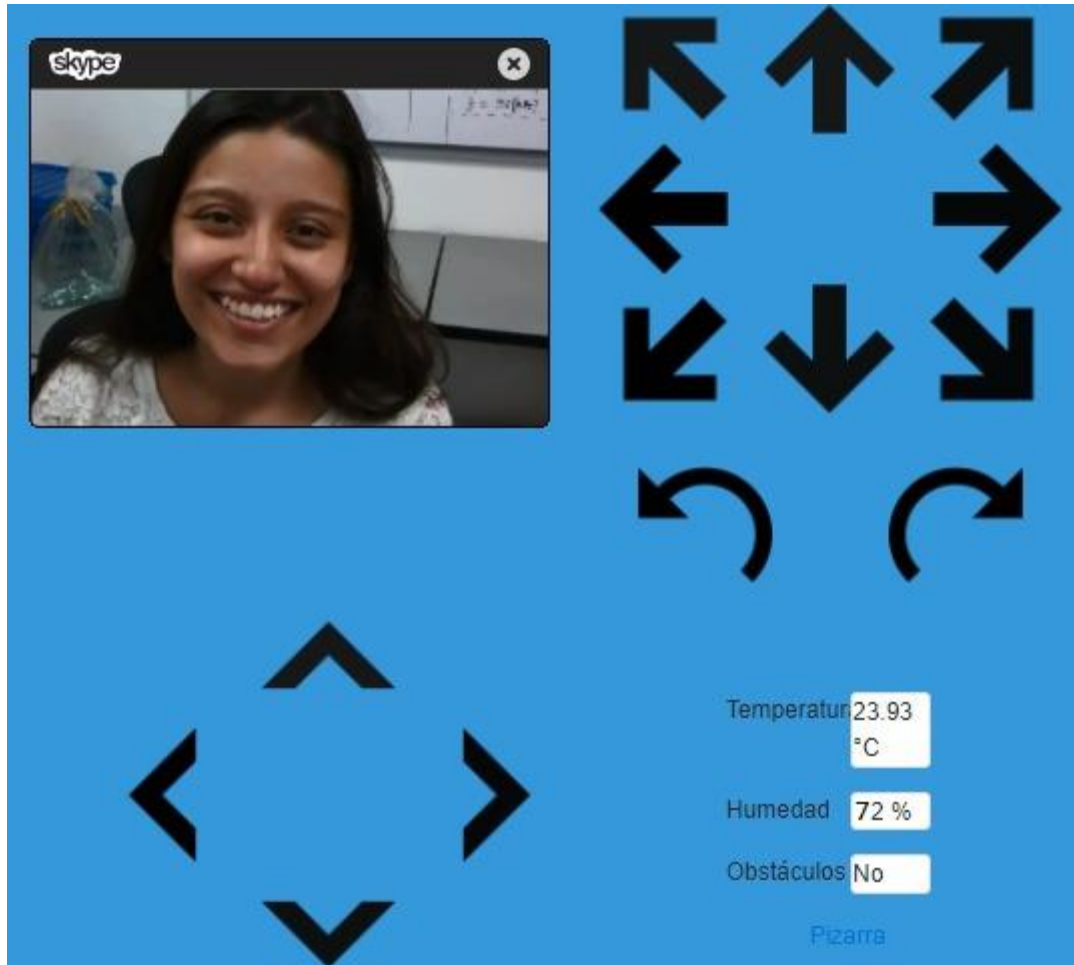


Figura 24. Interfaz versión web.

7. Validación del servicio IoTT

Para la validación se realiza la prueba del sistema completo en las oficinas del grupo de investigación RadioGIS (ver figura 25), cuyos pasillos más angostos tienen un ancho de 80 [cm], recreando posibles escenarios en los que se requerirá el prototipo tales como: El docente necesita dictar una conferencia a un grupo de estudiantes, pero se encuentra fuera de la ciudad o el director de un grupo de investigación desea monitorear el los desarrollos llevados a

cabo en los laboratorios sin embargo por cuestiones de tiempo le es imposible desplazarse hasta el lugar. En dichas situaciones se puso a prueba el reconocimiento del entorno de trabajo, la fluidez de la conversación, el sistema de frenado ante detección de obstáculos fijos o en movimiento, rango de visión del usuario, cumpliendo satisfactoriamente con los criterios requeridos.

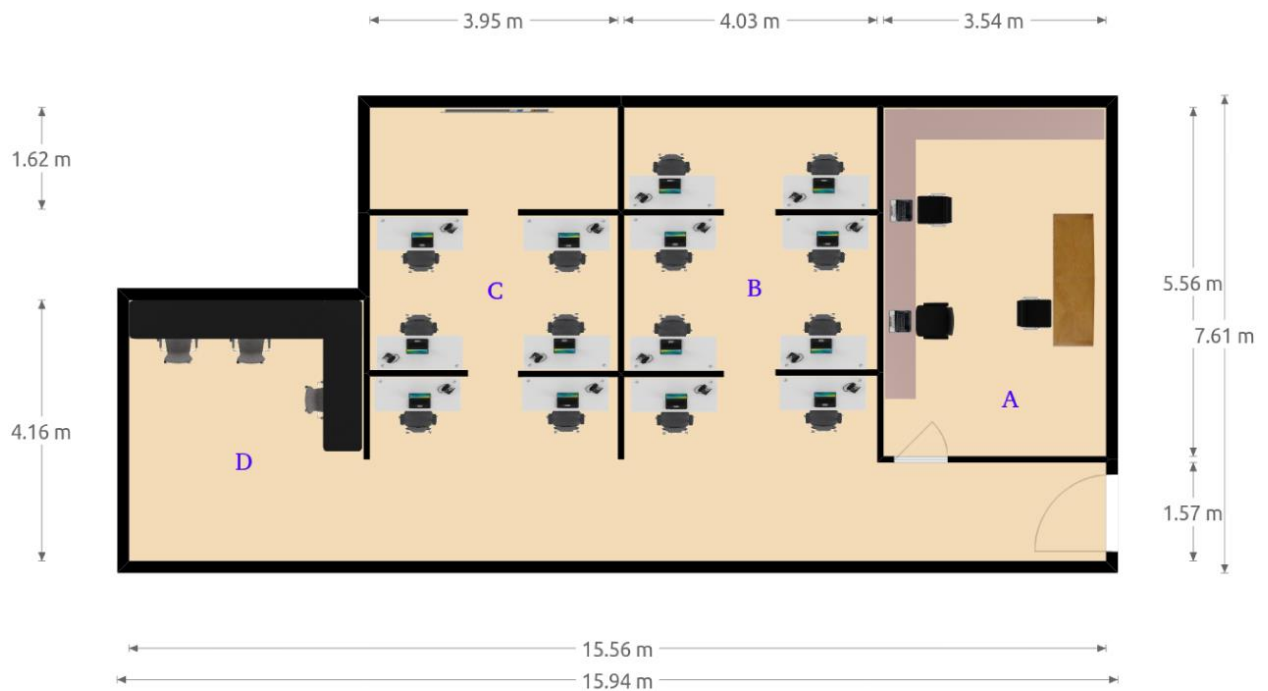


Figura 25. Oficina Grupo RadioGIS.

Escenario 1: En la sala grupal (A) se simuló una conferencia para 5 estudiantes, con el fin de probar la fluidez e interacción en la comunicación, arrojando un resultado satisfactorio entre los participantes con tiempos de latencia en video de aproximadamente 1 segundo, para mayor emisión de sonido por parte del robot es necesario enlazar vía bluetooth un dispositivo amplificador (parlante), de igual forma para mejor recepción de audio por parte del usuario que

opera el robot se recomienda integrar un micrófono externo debido a que en la prueba si el robot estaba muy alejado de los participantes disminuía la calidad del sonido.

Escenario 2: Se desplazó el robot desde la sala grupal A hacia las demás salas (B, C y D) verificando en el recorrido las múltiples configuraciones dadas por el desplazamiento omnidireccional. En la Figura 26, se observa el recorrido realizado en la prueba y los comandos empleados. Con visibilidad directa entre el usuario y el robot, el recorrido se realizó en un tiempo de 4 minutos, empleando el sistema completo con video-llamada el recorrido duro 9 minutos, teniendo en cuenta que para esta segunda prueba es necesario mover constantemente el sistema de movilidad de la Tablet para observar el entorno y evitar choques. De esta prueba se puede concluir que para un desplazamiento más seguro y certero:

- Con ayuda del sistema de movilidad de la Tablet realizar un sondeo del entorno cada vez que sea necesario, una vez identificado el lugar de trabajo, si los pasillos son muy angostos enfocar la cámara de la Tablet en dirección al piso totalmente recta con respecto a las dos ruedas delanteras del robot y proceder el recorrido. Para tener un mejor control sobre el robot se recomienda visualizar constantemente su ubicación con ayuda de una cámara externa ubicada estratégicamente en la zona superior del área de trabajo donde se ubique el robot.

- Activar los comandos de desplazamientos por tiempos cortos para evitar saturación por envío constante de datos o fallos en la red.

- Para evitar desplazamientos prolongados por el robot se debe garantizar el buen funcionamiento de la red Wifi y que este opere en el área de cobertura.

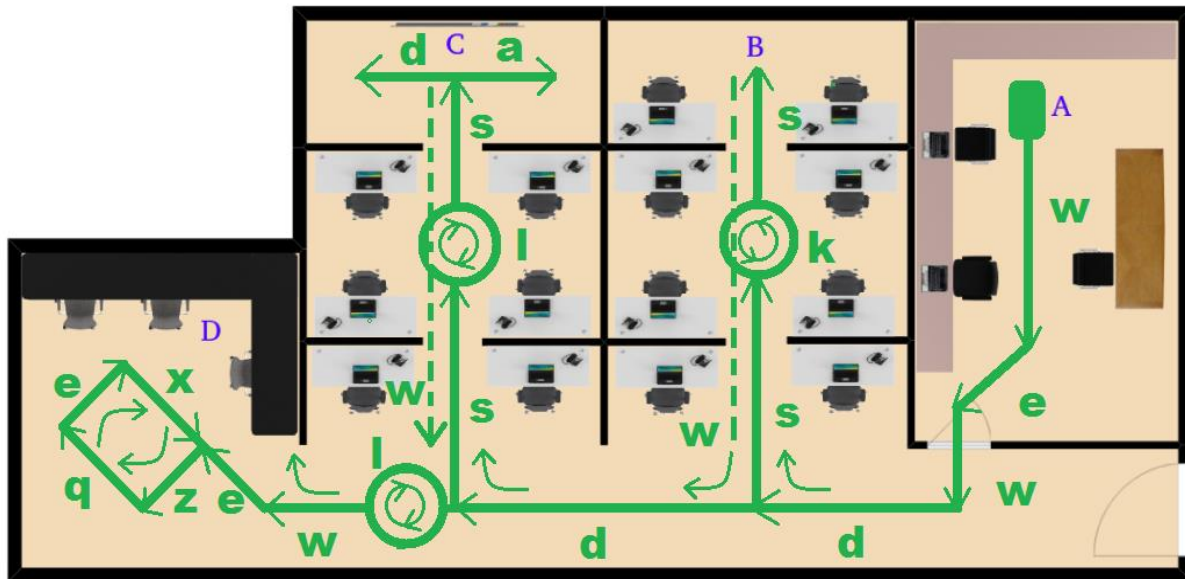


Figura 26. Recorrido del RTP en RadioGIS.

Escenario 3: Con el robot posicionado en la sala grupal (A) se inspeccionaron distintos equipos ubicados allí, empleando solamente el sistema de movilidad de la Tablet, mostrando como resultado un rango de visibilidad amplio tanto en el eje vertical como horizontal, gracias a los 60° de rotación del sistema. En la Figura 27 y Figura 28 se observa una foto panorámica tomada desde el sistema de movilidad de la Tablet de forma horizontal y vertical respectivamente.



Figura 27. Foto panorámica horizontal.



Figura 28. Foto panorámica vertical.

Escenario 4: Con el fin de verificar el sistema de detección de obstáculos se realizaron 2 pruebas, una estática y otra dinámica, en la primera se acercó el robot directamente a un obstáculo fijo (Figura 29) y en la segunda el robot avanzaba libremente y de momento aparece un obstáculo en movimiento (Figura 30), en ambas pruebas el robot se detuvo repentinamente a una distancia aproximada de 35 [cm] tomando como referencia de medida el sensor ultrasónico.



Figura 29. Obstáculo estático.



Figura 30. Obstáculo en movimiento.

Escenario 5: Para comprobar la capacidad de carga con la que cuenta el prototipo se realizaron varias pruebas con distintos pesos obteniendo como resultado antes de comprometer las capacidades del desplazamiento del robot un máximo de carga 20[kg], adicionalmente se realizó una prueba de arrastre ubicando un peso de 70[kg] sobre una base móvil acoplada al robot sin dificultad alguna en sus desplazamientos.

Escenario 6: Con el robot ubicado en el sótano del edificio de Laboratorios Pesados (Figura 31) de la Universidad Industrial de Santander se procede a medir las variables de temperatura y humedad relativa, obteniendo en la plataforma TP-IoT en tiempo real dichos datos.



Figura 31. Robot de telepresencia versión 1.0 (RTPV1.0).

Empleando la gestión de proyectos se lograron definir los requisitos del producto y servicio para los interesados identificados, logrando como finalidad un robot de telepresencia que cuenta con las características descritas en la Tabla 5.

Tabla 5.

Características del robot de telepresencia.

Características técnicas	Validación
Control	IoT
Tipo de desplazamiento	Omnidireccional
Autoacoplamiento a la red	Si
Autonomía	6,8 horas
Peso sin batería	18[kg]*
Velocidad en desplazamientos	0,53[m/s]**
Indicador de tensión de batería	Si
Dimensiones del robot	132[cm] x 47[cm] x 57[cm]
Sensores de temperatura	Si
Sensores de humedad	Si
Sistema detector de obstáculos	Si
Capacidad para transportar equipo	Si
Pizarra compartida	Si
Autenticación de ingreso	Si
Ancho de banda consumido	17,624[kB/s]
Libertad de movimiento Tablet	60° eje vertical y 60° eje horizontal

Nota: *El peso con batería es de 20[kg]. **Para desplazamientos diagonales la velocidad es de 0,58[m/s].

8. Recomendaciones y trabajos futuros

- Antes de manipular el robot es necesario leer el manual de usuario suministrado en este trabajo de grado, el cual cuenta con recomendaciones, restricciones, cuidados y otros aspectos relacionados con el prototipo.
- Potenciar el sistema administrable haciendo uso de nuevos sistemas embebidos que cuenten con mayores prestaciones en cuanto a rapidez de periféricos y conectividades a la red.
- Para mayor autonomía del prototipo instrumentar el lugar de trabajo donde se ubique el robot con: sistemas RFID para que por medio de una credencial el robot pueda acceder a distintas áreas sin ayuda de terceros, y con una zona para cargar la batería del robot de forma automática una vez se posicione allí.
- Las siguientes son algunas áreas de impacto en las cuales se podría dar seguimiento al presente proyecto con el fin de brindar un servicio a la comunidad: medicina, educación, sector empresarial, militar entre otros.

9. Conclusiones

- Se entrega a la Universidad Industrial de Santander la versión 1.0 de un robot de telepresencia (RTPV1.0) que facilite la interacción entre personal docente y de investigación ubicados en sitios separados geográficamente.
- Basado en el modelo de capas de la arquitectura de la plataforma IoT UIS desarrollada por el CentroTIC y el grupo de investigación RadioGIS, se implementó un servicio IoT específico de telepresencia.
- El modelo de terminal IoT planteado como solución en este proyecto, es un modelo replicable a futuros trabajos que involucren el uso de herramientas tanto de hardware como de software para desarrollos IoT que permitan la interconectividad con las redes de comunicación inalámbricas, específicamente las relacionadas al internet.
- Por medio del modelo cinético de la base omnidireccional se validó la programación que permite desplazar al robot en 3 grados de libertad.
- Empleando técnicas de ingeniería de gestión, por medio de historias de usuarios se identificaron las necesidades de los interesados, dando como resultado un producto que cuenta con características tales como: control por IoT, desplazamiento omnidireccional, movilidad de un sistema de posicionamiento para una Tablet, sensado de temperatura y humedad, sistema detector de obstáculos, autoacoplamiento al servidor, autonomía de 6,8 horas, capacidad de transportar equipo de laboratorio, autenticación a usuarios que hacen uso del prototipo, entre otros (ver tabla 5).

- Al emplear el sistema embebido como sistema administrable, se realizaron aplicaciones de telecontrol y telemetría que se efectúan de forma simultánea aprovechando que el sistema permite programación en paralelo dando posibilidad de ejecutar varios procesos para un mayor rendimiento.
- Se desarrolló una interfaz en lenguaje de alto nivel (Python) para el control local de un robot de telepresencia, la cual fue escalada a un sitio web para soluciones IoT, empleando los recursos disponibles en la plataforma IoT UIS del CentroTIC produciendo un servicio básico con apoyo en la nube para almacenamiento de datos e implementación de futuras capacidades.

Referencias Bibliográficas

- Ackerman, E. (6 de Enero de 2016). *El robot de telepresencia doble 2 tiene mejor estabilidad, nueva cámara y botón Turbo*. Obtenido de <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/home-robots/double-robotics-double-2-telepresence-robot>
- Akin, D. L., Minsky, M., Thiel, E., & Kurtzma. (1 de Octubre de 1983). Space Applications of Automation, Robotics and Machine Intelligence Systems (ARAMIS), phase 2. Volume 1: Telepresence technology base development. *Space Applications of Automation, Robotics and Machine Intelligence Systems (ARAMIS), phase 2. Volume 1: Telepresence technology base development*. United States: NASA-CR-3734, NAS 1.26:3734, SSL-30-83.
- Areny, R. P. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal*. Barcelona: Marcombo.
- Arriarán, S. S. (2015). *Todo sobre sistemas embebidos Arquitectura, programación y diseño de aplicaciones prácticas con el PIC18F*. Lima: saxo.
- Azurra, D., Rodriguez, D., Pytel, P., Santos, D., Giordano, V., Arboleya, H., & García-Martínez, R. (2011). Arquitecturas de Sistemas Embebidos Utilizables en Robótica Autónoma. *Proceedings XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 702-706.
- Caverzasi, A., Saravia, F., & Micolini, O. (2014). Robot móvil autónomo para crear mapas 3D en un ambiente acotado. *IEEE Xplore*.
- Chatten, J. (1972). Foveal Hat: a head-aimed television system with foveal-peripheral image format.

- Ching, P. W., Yue, W. C., & Lee, G. G. (2016). Design and development of edgar - a telepresence humanoid for robot-mediated communication and social applications. *Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, 1-4.
- Corona, L., Abarca, G., & J., M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Mexico: GRUPO EDITORIAL PATRIA.
- Craig, J. J. (1989). *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co.
- Dickerson, S. L., & Lapin, B. D. (1991). Control of an omni-directional robotic vehicle with Mecanum wheels. *National Telesystems Conference*, 323-328.
- dimensionengineering. (Julio de 2007). *dimensionengineering*. Obtenido de dimensionengineering:
<https://www.dimensionengineering.com/datasheets/Sabertooth2x25.pdf>
- Draper, J. V., Kaber, D. B., & Usher, J. M. (1998). Telepresence. *Human Factors*, 354-375.
- Glaría, J., & Kouro, S. (1 de 6 de 2001). *ingeborda*. Obtenido de ingeborda:
<http://ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Instalaciones%20Electricas%20Industriales/Sensores%20de%20Humedad.pdf>
- Goertz, R., Grove, D., & Grimson, J. H. (1961). *United States Patente n° 2978118*.
- Heath, S. (2003). *Embedded Systems Design*. Oxford: Newnes.
- IEEE. (s.f.). *Standard for Information technology*.

- Intel . (s.f.). *Intel*. Obtenido de Intel: <https://ark.intel.com/es/products/78919/Intel-Galileo-Board>
- Jae-Bok , S., & Kyung-Seok , B. (2006). Design and Control of an Omnidirectional Mobile Robot with Steerable Omnidirectional Wheels. *Mobile Robotics, Moving Intelligence*, 223-240.
- Kristoffersson, A., Coradeschi, S., & Loutfi, A. (2013). A Review of Mobile Robotic Telepresence. *Hindawi*, Article ID 902316, 17 pages.
- Kwon, O.-H., Koo, S.-Y., & Kim, Y.-G. (2011). Telepresence robot system for English tutoring. *IEEE Xplore*.
- Lee, J. (25 de mayo de 2013). *modernhealthcare*. Obtenido de <http://www.modernhealthcare.com/article/20130525/MAGAZINE/305259957>
- Mayné, J. (2003). *tecnologiaycultura*. Obtenido de [tecnologiaycultura: http://www.tecnologiaycultura.net/docs/Sensores.pdf](http://www.tecnologiaycultura.net/docs/Sensores.pdf)
- Murphy, R. R. (2000). *Introduction to AI Robotics*. Massachusetts: Bradford Book.
- Novodvoretz, I. D. (s.f.). *ORT Argentina - Campus Virtual ORT*. Obtenido de ORT Argentina - Campus Virtual ORT: <http://campus.ort.edu.ar/descargar/articulos/141117/>
- PADBOT. (s.f.). *padbot*. Obtenido de <http://www.padbot.com/padbotp2>
- Rojas, R. (18 de Mayo de 2005). Omnidirectional Control. *Omnidirectional Control*. Berlin, Alemania.
- Schloerb, D. W. (1995). A Quantitative Measure of Telepresence. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 65-78.

- Schultz, R., Nakajima, R., & Nomura, J. (2002). Telepresence mobile robot for security applications. *IEEE Xplore*.
- Scrum Manager BoK*. (23 de Marzo de 23 March 2014). Obtenido de Scrum Manager BoK: http://www.scrummanager.net/bok/index.php/Historia_de_usuario
- Shchekoldin, A., Shevyakov, A., & Dema, N. (2017). Adaptive head movements tracking algorithms for AR interface controlled telepresence robot. *IEEE Xplore*.
- Sheridan, T. B. (1992). Musing on telepresence and virtual presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environment*, 120-126.
- Taheri, H., Qiao, B., & Ghaeminezhad, N. (2015). Kinematic Model of a Four Mecanum Wheeled Mobile Robot. *International Journal of Computer Applications*, Volume 113(13):6-9.
- West, M., & Asada, H. (1992). Design of a Holonomic Omnidirectional Vehicle. *IEEE*, 97-103.
- Woods, B. (30 de Octubre de 2006). Omni-Directional Wheelchair. *Omni-Directional Wheelchair*. Crawley.