



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES

INDUSTRIALES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEOPERACION PARA
CONTROLAR UN ROBOT HUMANOIDE MEDIANTE UN SENSOR KINECT”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

Presentado por:

DIEGO RAMIRO ÑACATO ESTRELLA

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios por haberme guiado a lo largo de mi carrera, por darme la fuerzas en los momentos de debilidad, de la misma manera agradezco a mis padres Ramiro y Elsa por haber sido un apoyo incondicional, por todos los valores que me han inculcado, por ser un ejemplo de perseverancia para ser una persona de bien.

Diego Ramiro Ñacato

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a mi familia por confiar en mí y brindarme el apoyo incondicional en el transcurso del mismo. A mis amigos que con sus palabras de aliento impulsaron la culminación de este trabajo.

Diego Ramiro Ñacato

FIRMAS DE RESPONSABLES Y NOTA

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Gonzalo Nicolay Samaniego Erazo, Ph.D		
DECANO DE LA FACULTAD DE		
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Ing. Alberto Arellano		
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE		
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN		
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego		
DIRECTOR DE TESIS
Ing. Gloria Vanegas		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL
DIRECTOR DPTO.		
DOCUMENTACIÓN
NOTA DE LA TESIS	

DERECHOS DE AUTOR

“Yo, **DIEGO RAMIRO ÑACATO ESTRELLA**, soy responsables de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en esta tesis, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la **Escuela Superior Politécnica De Chimborazo**”

.....

Diego Ramiro Ñacato Estrella

AUTOR

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

3D	Tercera dimensión
ADC	Convertidor analógico digital
AREF	Pin Analógico de referencia
AMLC	Autómata Multifunción de Libre Control
cm	Centímetro
CNC	Control numérico computarizado
COM	Puerto de comunicación
CURV	Controlled Undersea Recovery Vehicle
D-H	Parametrización Denavit Hartenberg
DIN	Dato de entrada
DOUT	Dato de Salida
DOF	Grados de libertad
Fps	Cuadros de imagen por segundo
GDL	Grado de libertad
GPS	Sistema de posicionamiento global
HMI	Interfaz hombre maquina
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
IP	Protocolo de internet

IOREF	Tensión de entrada salida de junta
IR	Infrarrojo
JASON	Submarino a control remoto
Kg	Kilogramos
kHz	kilo Hertzios
LIFE	Batería de larga duración
mA	Mili amperio
Mhz	Mega Hertzios
NH4	Robot industrial sistema laser de soldadura
NiMh	Níquel Metal Hidruro
OSX	Entorno operativo vasado en unix
PC	Computadora personal
PTZ	Movimiento horizontal vertical y zoom
PWM	Modulación por ancho de pulso
RGB	Rojo Verde Azul
ROV	Vehículo operado remotamente
RSIC	Computadora con conjunto de instrucciones reducido
RESET	Reseteo del microcontrolador
RS 232	Comunicación serial Asíncrona

RX	Receptor
SDA	Interrupción externa
SDK	Kit de desarrollo de Software
SCL	Interrupción externa
SSC	Spawar Systems Center
TTL	Transistor Transistor Lógico
TCP	Protocolo de control transmisión
TX	Transmisor
UART	Transmisor recetor asíncrono universal
UAV	Vehículo Aéreo no tripulado
UDP	Protocolo de datagrama de usuario
UGB	Vehículo Terrestre no tripulado
USAF	Fuerza Aérea Estados Unidos
USB	Bus universal en serie
VCP	Puerto com Virtual
VGA	Adaptador grafico e video
VICTOR	Sistema de aguas profundas, con mando a distancia.
WIFI	Tecnología de comunicación inalámbrica
WPAN	Red inalámbrica de área personal

ZEUS

Sistema de cirugía robótico

ÍNDICE GENERAL

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

FIRMAS DE RESPONSABLES

DERECHOS DE AUTORIA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL.....- 18 -

1.1 ANTECEDENTES.....- 18 -

1.2. JUSTIFICACIÓN- 19 -

1.3. OBJETIVOS- 19 -

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....- 19 -

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....- 20 -

1.4. MARCO HIPOTETICO- 20 -

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN- 21 -

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS TELEOPERACION Y TELEROBOTICA- 22 -

2.3. ANTECEDENTES DE LA TELEOPERACION- 22 -

2.4. APLICACIONES DE LA TELEOPERACION- 25 -

2.4.1 APLICACIONES EN EL ESPACIO.....- 25 -

2.4.2. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA NUCLEAR.....- 26 -

2.4.3. APLICACIONES SUBMARINAS.....- 27 -

2.4.4. APLICACIONES MILITARES.....- 28 -

2.4.5. APLICACIONES MÉDICAS.....- 29 -

2.4.6. OTRAS APLICACIONES.....- 30 -

2.5. ELEMENTOS EN LA TELEOPERACION	- 31 -
2.6. MODOS DE CONTROL TELEROBOTICO	- 32 -
2.6.1. CONTROL CONMUTADO	- 32 -
2.6.2 CONTROL COMPARTIDO	- 33 -
2.7. TELEPRESENCIA	- 33 -
2.8. SISTEMA TELEOPERADO AMLC	- 33 -
2.8.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA.....	- 33 -
2.8.2. DISEÑO DEL SISTEMA TELEOPERADO AMLC	- 34 -
2.8.3. SISTEMA TELEOPERADO AMLC Y PLATAFORMA 17 DOF HUMANOID ROBOT	- 35 -
2.8.4. SISTEMA TELEOPERADO AMLC Y PLATAFORMA HUMANOIDE ROBOPHILO	- 37 -
2.8.5. SENSOR KINECT.....	- 38 -
2.8.5.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS	- 39 -
2.8.5.2. FUNCIONAMIENTO	- 40 -
2.8.6. CAMARA IP.....	- 41 -
2.8.6.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS	- 42 -
2.8.7. ARDUINO MEGA 2560 R3	- 43 -
2.8.7.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS	- 43 -
2.8.8. MODULO AXON II.....	- 44 -
2.8.8.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS	- 44 -
 CAPITULO III	
DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA AMLC	
3.1. SOFWARE DEL SISTEMA TELEOPERADO AMLC	- 46 -
3.1.1. PROCESAMEINTO DE SEÑALES DEL SENSOR KINECT	- 46 -
3.1.2. SEGUIMIENTO DE ESQUELETO	- 48 -
3.1.3. CINEMÁTICA INVERSA DEL ROBOT	- 51 -
3.1.4. RESOLUCIÓN PROBLEMA CINEMÁTICO INVERSO POR MÉTODOS GEOMÉTRICOS	- 53 -
3.1.5. SOFTWARE SELECCIONADO PARA EL CONTROL	- 55 -
3.1.5.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO	- 56 -
3.1.6. ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	- 58 -
3.1.6.1. COMUNICACIÓN PC Y MODULO DE CONTROL.....	- 59 -
3.1.6.1.1. USO DEL PROTOCOLO ZIGBEE PARA COMUNICACION	- 59 -

3.1.6.1.2. MODULO DE TRANSMISION INALAMBRICA XBEE	- 61 -
3.2. HARDWARE DEL SISTEMA TELEOPERADO AMLC	- 63 -
3.2.1. PLATADORMAS HUMANOIDE	- 63 -
3.2.1.1. PLATAFORMA ROBOTICA ROBOPHILO	- 64 -
3.2.1.2. PLATAFORMA ROBOTICA 17 DOF	- 65 -
3.2.2. MÓDULOS PARA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	- 66 -
3.2.2.1. MÓDULO XBEE.....	- 66 -
3.2.2.1.1. ADAPTADORES XBEE EXPLORER REGULADO Y XBEE EXPLORER USB	- 67 -
3.2.3. CÁMARA IP WIFI.....	- 68 -
3.2.4. SENSOR KINECT.....	- 69 -
3.2.5. ARDUINO MEGA 2560.....	- 69 -
3.2.6. TARJETA DE DESARROLLO AXON II	- 70 -
CAPITULO IV	
PRUEBAS Y RESULTADOS	
4.1. PRUEBAS PUNTOS DE REFERENCIA.....	- 71 -
4.2. PRUEBAS DE CAMARA IP Y MODULO DE TRANSMISION.....	- 78 -
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
RESUMEN	
SUMMARY	
GLOSARIO	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II -1 Raymond Goertz, primer dispositivo de Teleoperación con reflexión de fuerza.....	- 23 -
Figura II -2 Primer dispositivo de Teleoperación con acondicionamiento eléctrico .-	23 -
Figura II -3 Primer vehículo submarino teleoperado CURV	- 24 -
Figura II -4 Primeros desarrollos de sistemas teleoperados	- 25 -
Figura II -5 NASA/ JPL Curiosity [5].....	- 26 -
Figura II -6 Robot blindado en la planta nuclear de Fukushima.....	- 27 -
Figura II -7 Jason / Medea vehículo operado por control remoto	- 28 -
Figura II -8 UAV Predator	- 28 -
Figura II -8 UGV Gladiator	- 29 -
Figura II -9 ZEUS robot en la medicina	- 30 -
Figura II -10 Smart NH4 Robot industrial Sistema laser de soldadura.....	- 31 -
Figura II -11 17 dof Humanoid Robot	- 36 -
Figura II -12 Robophilo Humanoid Robot	- 38 -
Figura II -13 Microsoft Kinect	- 38 -
Figura II -14 Funcionamiento Microsoft Kinect.....	- 41 -
Figura II -15 Cámara Ip.....	- 42 -
Figura II -16 Arduino Mega 2560	- 44 -
Figura II -17 Modulo Axon II.....	- 45 -
Figura III -1 Componentes de imagen	- 47 -
Figura III -2 Organización de pixeles.	- 47 -
Figura III -3 Puntos de referencia partes del cuerpo humano.	- 48 -
Figura III -4 Rango de visión Kinect.	- 49 -
Figura III -5 Robot articular.	- 52 -
Figura III -6 Robot 3 grados de libertad.	- 53 -
Figura III -7 elementos 2 y 3 robot articular.....	- 54 -
Figura III -8 Atmel Studio 6.	- 57 -
Figura III -9 Microsoft Visual Studio 2010.	- 58 -
Figura III -10 Sistema Teleoperado AMLC.....	- 59 -
Figura III -11 Configuración X-CTU Modulo de comunicación inalámbrica....	- 63 -
Figura III -8 a) plataforma robophilo, b) plataforma 17 dof	- 64 -
Figura IV -1 HMI obtención de datos.....	- 72 -
Figura IV -2 Funcionamiento normal del robot	- 73 -
Figura IV -3 Funcionamiento final.....	- 74 -
Figura IV -4 estado de reposo.....	- 75 -
Figura IV -5 movimientos básicos brazos.....	- 75 -
Figura IV -6 movimientos básicos pierna	- 76 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II – I características Robophilo	- 37 -
Tabla II – II características Arduino Mega.....	- 43 -
Tabla II – III características AXON II	- 44 -
Tabla IV -I Tabla de distancia.....	- 72 -
Tabla IV -I Tabla de distancia (continuación)	- 73 -
Tabla IV -I Tabulación de datos.....	- 76 -
Tabla IV -I Tabulación de datos (continuación)	- 77 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1

Manual de usuario

ANEXO 2

Manual de mantenimiento

INTRODUCCIÓN

Se entiende por Teleoperación la extensión de las capacidades sensoriales y destrezas humanas a una localización remota. La intervención del operador se puede lograr de varias maneras. Por lo tanto, podemos hablar de la manipulación a distancia cuando el operador controla un brazo articulado con una pinza, en una localización remota o de teleguiado, cuando el operador realiza una tarea como la de guiado de un vehículo sin conductor.

En los dispositivos mencionados existen actuadores, tales como motores que generan sus movimientos, se utiliza también el término de teleactuación para referirse a los aspectos específicos de generación de órdenes a los actuadores. Asimismo, se habla de telesensorización para referirse a la captación y visualización de información sensorial en la localización remota.

La intervención del operador puede producirse en muchas formas diferentes, desde la Teleoperación directa de los actuadores de las articulaciones de un brazo manipulador, hasta la simple especificación de movimientos, o incluso tareas, las cuales se realizan de forma automática empleando para ello los sistemas de informáticos de control en la estación de Teleoperación y en la localización remota.

La automatización de los procesos de producción mediante el uso de manipuladores robóticos teleoperados es una de las áreas tecnológicas de mayor progreso en los últimos años, puesto que brinda la posibilidad de una configuración versátil y automática de fábricas y sistemas de manufactura. Estos sistemas de Teleoperación posibilita la aparición de nuevas tecnologías para dar mayor seguridad al operador, lo que genera una

nueva visión en las industrias que las aplican. Los avances en las áreas de ciencia y tecnología vinculadas con los manipuladores robóticos, es indicativo de cuán eficiente ha resultado y resulta la robótica para el mejoramiento de la seguridad en ambientes de trabajo de alto riesgo para el operador.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES

Actualmente una de las áreas de enfoque en cualquier empresa es la optimización de los recursos y controlar los costos, reducir a través de una estrategia que permite a las empresas continuar operando en un entorno altamente competitivo, sin la necesidad de sacrificar a su personal ya capacitado, encontrar la eficiencia del proceso al tiempo que aumenta la gama de servicios es esencial.

Desde su aparición en los sistemas de Teleoperación hasta hoy en día, podemos ver que ha habido un gran avance, cada vez el alcance efectivo de la operación a distancia es más grande y se vuelve más importante, las aplicaciones de hoy pueden ir entre diversión y entretenimiento hasta para el rescate de personas en ambientes peligrosos.

En sistemas remotos de manipulación de Robots la intervención del operador humano es a menudo necesario, especialmente en entornos no estructurados y dinámicos, en los que los problemas de percepción y programación automática son compleja. En muchos casos, el operador se separa físicamente del dispositivo, que comprende un sistema de telecomunicaciones entre los dispositivos y el operador usando el sistema de control local del robot directamente.

El operador puede intervenir en muchas formas diferentes, desde teleoperación directa para los actuadores, especificación común de los movimientos simples, o incluso las tareas que se realizan automáticamente en el entorno remoto.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las aplicaciones de la robótica, automatización, comunicaciones y control en el ámbito de la ingeniería particularmente en el ámbito industrial han crecido de manera exponencial en los últimos años, debido a la evolución de nuevas tecnologías que facilitan el desarrollo de procesos innovadores. Nuestra Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales también debe ser pionero en la investigación de estas nuevas tecnologías, dejando un precedente para que las próximas generaciones puedan desarrollar nuevos proyectos.

Viendo esta necesidad, que los estudiantes de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales o cualquier persona con acceso a este documento se familiarice con estas tecnologías de forma teórica, se desarrolló este proyecto que pretende diseñar e implementar un sistema de Teleoperación para controlar un robot humanoide mediante un sensor Kinect, con el cual las personas obtendrán conocimiento acerca de la aplicación de los sensores, sistema de control, medio de comunicación e interfaz entre usuario y robot para el desarrollar nuevas herramientas que se puedan aplicar en resolver problemas puntuales de la sociedad.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e Implementar un sistema de Teleoperación para controlar un robot humanoide mediante un sensor Kinect.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar y estudiar los protocolos de comunicación inalámbrica para transmitir los datos al controlador de servomotores.
- Diseñar un HMI que vincule el sensor Kinect y envíe datos de manera inalámbrica al controlador de servomotores.
- Controlar los sistemas electromecánicos por medio de un controlador de servomotores.
- Acoplar el sistema de control manual a un sistema de control inalámbrico usando un sensor Kinect.

1.4. MARCO HIPOTETICO

HIPOTESIS

La implementación de un sistema de Teleoperación permitirá controlar y sincronizar los movimientos de un robot humanoide con los del operador.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

Con el tiempo, el hombre ha utilizado diversas herramientas para aumentar el alcance de su capacidad de procesamiento, desde palos hasta complejos dispositivos gestionados a través de Internet.

Desde tiempos remotos, el hombre ha utilizado diversas herramientas para aumentar el alcance de su capacidad de procesamiento en un principio no era más que palos utilizados para depositar la fruta madura de un árbol, ahora todos estos sistemas han evolucionado y se vuelven más complejos como la navegación y la toma de muestras en peligrosos ambientes, salvamento de barcos hundidos, exploración en aguas profundas.

El uso de otras herramientas, como alicates de herrero se utilizaba desde hace mucho tiempo para el transporte o manipulación de las partes peligrosas o calientes, como materiales radiactivos [1][2].

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS TELEOPERACION Y TELEROBOTICA

Se entiende que la capacidad de operación de forma remota a una estación de operación a distancia de las capacidades humanas. Términos Teleactuación también se utiliza para describir los detalles de la generación de órdenes a los actuadores y telesensorización para la recogida y visualización de la información sensorial. [1]

Telerobótica puede considerarse una forma avanzada de teleoperación, caracterizado por una mayor autonomía (capacidad de decidir y actuar) en el sistema remoto para mantener una importante intervención del operador humano para controlar o teleoperación directa. [1]

Las limitaciones de estos sistemas es la capacidad de procesar las señales y de esta manera la precisión y coordinación operador-robot. Cabe señalar que el retraso de la transmisión es importante y debe tenerse en cuenta en el diseño del sistema de control. Por lo que se encuentra normalmente con las tareas del operador para tomar decisiones basadas en la información sensorial, la experiencia y la competencia. [1]

2.3. ANTECEDENTES DE LA TELEOPERACION

La Teleoperación para realizar tareas en lugares remotos, ha existido desde los primeros tiempos de la robótica. De hecho, la robótica industrial tradicionalmente considerada deriva de la convergencia de la tecnología del control máquinas-herramientas y los dispositivos de control remoto. [3][1]

En la década de los cuarenta, se comenzó el desarrollo de dispositivos teleoperados, motivado fundamentalmente por la necesidad de manejar sustancias radioactivas. Así se encuentra el primer sistema de Teleoperación que fue construido por Raymond Goertz en

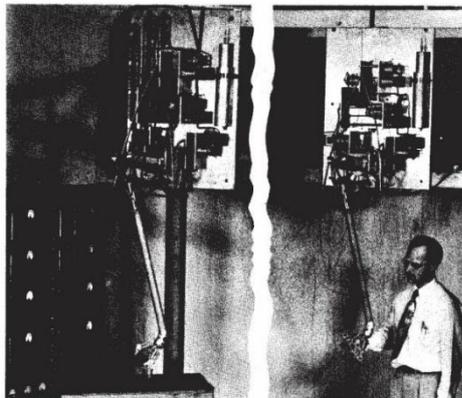
1947, en el laboratorio Nacional de Argonne en los Estados Unidos orientado al desarrollo de este tipo de mecanismos maestro-esclavo. Aunque este era enteramente mecánico, ya contaba con reflexión de fuerza [3] [1]



Fuente: <http://cyberneticzoo.com/wp-content/uploads/Manipulator-1954-ANL-ModE1-Goertz-x640.jpg>

Figura II -1 Raymond Goertz, primer dispositivo de Teleoperación con reflexión de fuerza

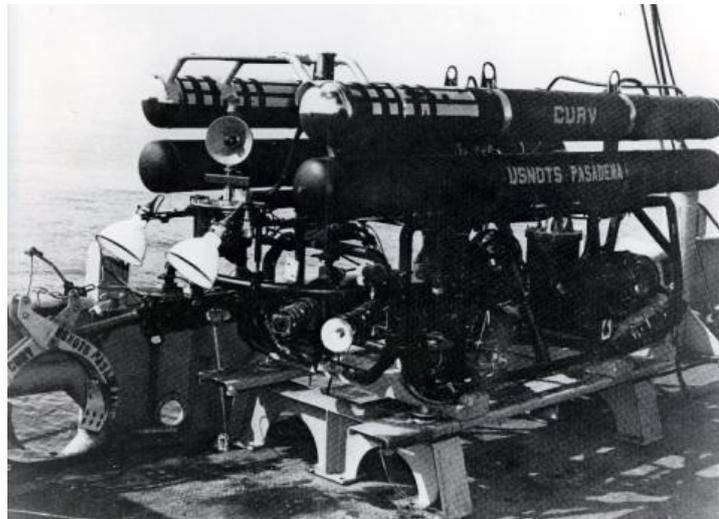
En los años 50, los manipuladores equipados con actuadores eléctricos para el movimiento de la transmisión eléctrica fueron desarrollados, por lo que el primer manipulador maestro-esclavo con acondicionamiento de potencia, también desarrollado por Raymond Goertz en 1954. [3][1]



Fuente: <http://cyberneticzoo.com/wp-content/uploads/Manipulator-1954-ANL-ModE1-Goertz-x640.jpg>

Figura II -2 Primer dispositivo de Teleoperación con acondicionamiento eléctrico

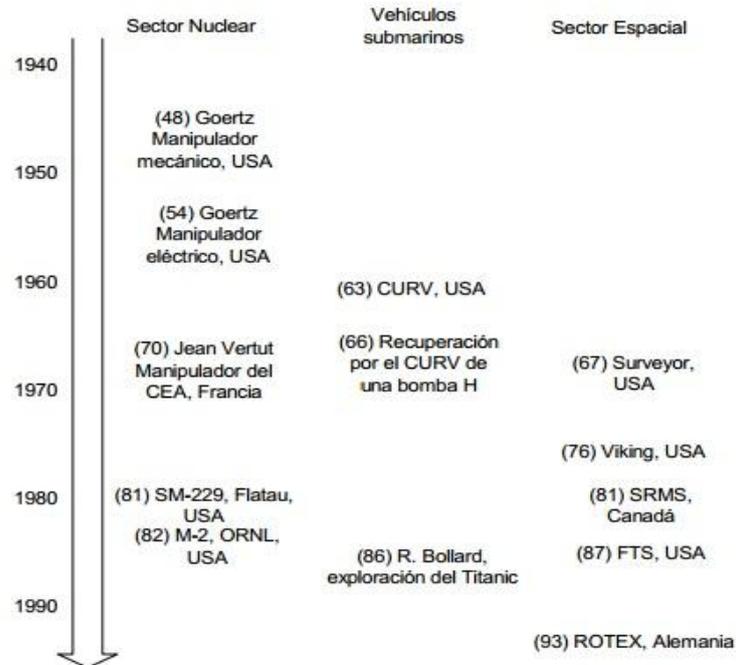
El concepto de la Teleoperación de productos radioactivos fue rápidamente retomado y desarrollado en los años sucesivos por Jean Vertut. No fue hasta comienzos de la década de los sesenta cuando se probó el primer vehículo submarino teleoperado, conocido con el nombre clave Controlled Undersea Recovery Vehicle (CURV). Fue desarrollado por la Naval Ordnance Test Station, uno de los laboratorios padre que dieron lugar a la empresa SSC San Diego Robotics, el CURV fue diseñado para recuperar unos cañones perdidos en un naufragio que sucedió en las cercanías de la isla San Clemente a una profundidad de unos 700 metros.



Fuente: <https://www.awesomestories.com/images/user/72f700afd2.jpg>

Figura II -3 Primer vehículo submarino teleoperado CURV

Posteriormente y coincidiendo con el primer gran auge de la carrera espacial, los sistemas teleoperados comenzaron a emplearse en misiones fuera de la tierra. [3][1]



Fuente: GOMEZ, J., Teleoperacion y telerobotica

Figura II -4 Primeros desarrollos de sistemas teleoperados

2.4. APLICACIONES DE LA TELEOPERACION

Desde el comienzo del desarrollo de la teleoperación, la industria nuclear fue el principal consumidor de sistemas remotos. Sin embargo, con los años ha ido a ver a su aplicabilidad a otros sectores, estrechamente relacionados el sector de servicios. Aquí, las áreas de aplicación más importantes de teleoperación.

2.4.1 APLICACIONES EN EL ESPACIO

Las aplicaciones espaciales tienen buenas razones para usar el control remoto y la tecnología de la manipulación a distancia, entre ellas se menciona;

- Seguridad; todas las operaciones espaciales se encuentran en alto riesgo, lo que puede ser la causa de la muerte de los astronautas.

- Costo; la necesidad de equipos para pasajeros humanos es mucho más caro y más pesado que un sistema de teleoperación.
- Tiempo; Hay muchas misiones que duran muchos años para lograr sus objetivos, por lo que estas tareas son sin tripulación humana.

Además de estas aplicaciones tienen el reto añadido de tener que trabajar con los retrasos en las comunicaciones, lo que los hace particularmente problemático. Sus principales aplicaciones son: la exploración planetaria y la experimentación (categoría de vehículo por lo general rover), mantenimiento y operación de satélites, construcción y mantenimiento de las estaciones espaciales. [4]



Fuente: http://www.nasa.gov/images/content/551038main_pia14156-43_946-710.jpg

Figura II -5 NASA/ JPL Curiosity [5]

2.4.2. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA NUCLEAR

Son mucho más numerosos. La utilidad del sistema de teleoperación está en intentarlo poder para manejar sustancias contaminadas entornos radiactivos y moverse con seguridad a los seres humanos. Sus principales aplicaciones son: manejo y experimentos con sustancias radiactivas, operación y mantenimiento de las instalaciones (reactores, tuberías, instalaciones de procesamiento de combustible nuclear, etc), las instalaciones de desmantelamiento y descontaminación y, por último, la actuación en caso de desastres nucleares. [3]



Fuente: http://estaticos02.elmundo.es/elmundo/2011/03/23/ciencia/1300897047_2.jpg

Figura II -6 Robot blindado en la planta nuclear de Fukushima

2.4.3. APLICACIONES SUBMARINAS

En este caso, la mayor parte del manipulador está en un vehículo submarino, llamado ROV (Remote Operated Vehicle), que también es accionado por control remoto. La utilidad de estos sistemas es tener acceso a ciertas áreas y profundidades en las que es imposible o peligrosa para un buceador. Sus principales aplicaciones son: inspección, mantenimiento, construcción submarina, la minería, el buceo, y la inspección de los fondos marinos.

La transmisión de datos se puede escuchar, en la que se adjunta la principal dificultad que enfrentan en el caso de teleoperación en el espacio y el ancho de banda de los datos es de sólo 10 kbps. También la transmisión de datos puede ser mediante un cable como en VICTOR sistema francés, pero hace las cosas más complicadas debido a que el peso del cable afecta a la cinemática del vehículo a control remoto. [6][7]

Se puede mencionar el avance de estos robots es el sistema del vehículo JASON, donde el sistema de Teleoperación puede estar sumergido hasta 500 Km. bajo el mar.



Fuente: http://www.whoi.edu/cms/images/jason_main_n1_36575.jpg

Figura II -7 Jason / Medea vehículo operado por control remoto

2.4.4. APLICACIONES MILITARES

Esta zona ofrece muchas oportunidades para los sistemas de teleoperación, la mayoría de las tecnologías de teleoperación móviles se desarrollaron para aplicaciones militares, las tecnologías utilizadas aquí van desde sistemas de monitoreo remoto, el uso de los UAV (vehículos aéreos no tripulados). Un ejemplo de este tipo de vehículo es Predator USAF. Estos vehículos tienen un muy amplio campo de aplicación, control, adquisición de objetivos militares, la detección del enemigo, el reconocimiento, entre otros, los primeros sistemas de este tipo tienen un control de lazo cerrado, el operador era el encargado de cerrar el bucle, hoy en día gracias a las nuevas tecnologías como el GPS (sistema de Posicionamiento Global) y el control y seguimiento de vehículos se vuelven más inteligentes. [8][9]



Fuente: http://defense-update.com/images_new1/italian_af_predator_a.jpg

Figura II -8 UAV Predator

Otra área de vehículos de este tipo se llaman UGV terrestre (vehículos terrestres no tripulados), con diferentes tecnologías, tales como, los sistemas de comunicación estereovisión son las frecuencias de radio de gran tamaño y el uso de rápido, un ejemplo de estos vehículos es el sargento (Vigilancia y suelo de Reconocimiento Equipo) creado por los Laboratorios Nacionales Sandia. Debido al aumento de la delincuencia y el terrorismo han creado una especie de sistemas de teleoperación llamados TERROBOTS, que se utilizan para desmantelar bombas, la vigilancia, la policía de asalto, entre otros, estos vehículos son teleroperados un bucle cerrado de control de un equipo de cable o por radio frecuencia es generalmente disponible de un sistema de visión, cámaras infrarrojas, manipuladores robóticos, armas letales y no letales.[10][11][12]



Fuente: http://www.ndia.org/Images//Gladiator_Robot.jpg

Figura II -8 UGV Gladiator

2.4.5. APLICACIONES MÉDICAS

A sido recientemente reforzado considerablemente la aplicación de la tecnología para el control remoto de la industria médica. Desde el comienzo de la elaboración de prótesis o dispositivos de ayuda para las personas con discapacidad en las noticias de la telecirugía o diagnóstico a distancia, aunque no se pertenecen estrictamente al campo de la teleoperación. [13]

La primera operación de teleoperación asistida, el escenario es el siguiente; el sistema robótico utilizado es ZEUS, la parte principal es el cirujano, se encuentra en la ciudad de Nueva York, Manhattan, mientras que el paciente se encontraba en Estrasburgo, Francia, la cirugía fue un laparoscópica Colectomía, la operación Lindbergh (nombre del paciente) fue un éxito, las telecomunicaciones fueron establecidas por el canal privado de Internet utilizando UDP / IP, con un retraso medio de 224 ms. [14][15]

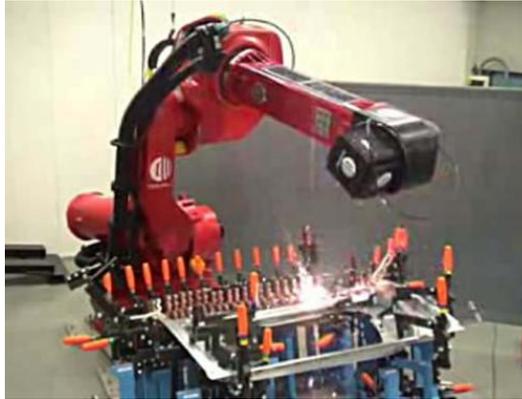


Fuente: <http://www.weblogsinc.com/common/images/3349235357956668.jpg>

Figura II -9 ZEUS robot en la medicina

2.4.6. OTRAS APLICACIONES

La Teleoperación también se encontró fuertemente en otros sectores que inicialmente no se centran. Entre ellas figuran las siguientes: aplicaciones de construcción y minería, mantenimiento de la tensión de red, mantenimiento de las instalaciones, el entretenimiento y la respuesta a los desastres naturales. La programación remota, control remoto y monitoreo del automóvil cada vez más que la mayoría de los procesos son líneas robotizadas más largos se aplica a la industria, en particular los sistemas de control que progresan cada día y con ellos nuevos paradigmas que la cooperación entre dichos sistemas y de los seres humanos, que muestran la amplia gama de aplicaciones en esta área del conocimiento. [16][17]



Fuente: <http://codigopgt.files.wordpress.com/2008/04/robo1.jpg>

Figura II -10 Smart NH4 Robot industrial Sistema laser de soldadura.

2.5. ELEMENTOS EN LA TELEOPERACION

En un sistema de Teleoperación existe un operador el cual envía las distintas órdenes de movimiento a través de un interfaz que actúa como entrada, estas órdenes son enviadas desde el sistema maestro hasta los mecanismos actuadores del sistema esclavo, el cual ejecuta dichas órdenes. El sistema remoto está dotado de todo un sistema sensorial que mide todas las variables que son de interés, estas variables posteriormente serán transmitidas hasta el sistema maestro a la interfaz de salida llegando así hasta el operador creando de esta forma un bucle de control, de esta forma se logra una interacción entre el operador y el entorno a través de todo el sistema maestro esclavo. [1][18]

Un sistema de Teleoperación consta de los siguientes elementos:

- Teleoperador u operador: es un ser humano que hace que el funcionamiento del mando a distancia. Su acción puede ir desde intermitente a la intervención de control continuo, que sólo se ocupa de la vigilancia y los objetivos y planes que muestran cada vez.

- Dispositivo remoto: puede ser un manipulador, un robot, vehículo o dispositivos similares. Esta es la máquina que opera en el área remota y que es controlado por el operador.
- Interfaz: un conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de operación remota. Se considera que la interfaz principal del manipulador, así como monitores de vídeo, o cualquier otro dispositivo que permite al operador para enviar información al sistema y recibir la misma información.
- Los canales de control y de comunicación: un conjunto de dispositivos que modulan, transmiten y adaptan el conjunto de señales que se transmiten entre el control remoto y local. Por lo general, contar con una o más unidades de procesamiento.
- Sensores: El conjunto de dispositivos que recogen información tanto de la zona y la zona remota para ser utilizado por la interfaz y el control.

2.6. MODOS DE CONTROL TELEROBOTICO

2.6.1. CONTROL CONMUTADO

Consiste en la sustitución de una unidad funcional por otra (Schneiderman, 1992). Es en esencia, un simple cambio de canales de información, básicamente se trata de que el operador pueda seleccionar entre el control autónomo o el control manual a distancia, de esta forma el robot puede ejecutar tareas rutinarias pre programadas mientras que el operador puede intervenir para controlar otras tareas. [19]

2.6.2 CONTROL COMPARTIDO

En control compartido, las órdenes del operador son enviadas durante la ejecución de un movimiento y son mezcladas con el control en bucle cerrado local. Los grados de libertad se dividen en dos conjuntos disjuntos; uno de ellos es dirigido por el operador y el otro es gobernado autónomamente. Se considera cada grado de libertad como una unidad funcional indivisible, por lo que no se permite controlar un grado de libertad con una suma ponderada de contribuciones de diferentes planificadores, esta forma de comparación puede causar problemas en algunas situaciones. [19]

2.7. TELEPRESENCIA

Con frecuencia los robots son necesarios para sustituir al hombre en ambientes peligrosos o en lugares donde sería demasiado costoso enviar personas (Stone y Edmonds, 1992). Sin embargo no se pretende en este caso que los robots realicen las tareas de manera semiautomática, sino que proyecten la información sensorial al operador humano e imiten los movimientos de este. Así se consigue que el operador humano introduzca movimientos de su cuerpo, que el robot duplicara, y recibirá de los sensores remotos realimentación completa visual, auditiva y táctil, de una calidad y forma comparable a la que normalmente producen los ojos oídos y piel. [19]

2.8. SISTEMA TELEOPERADO AMLC

2.8.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema AMLC es un sistema teleoperado el cual posee un robot humanoide, el cual posee un sistema de visión artificial que tiene como objetivo proveer de telepresencia al operador hacia el lugar remoto donde se encuentra el robot humanoide, teniendo la

capacidad de experimentar sensación visual, auditiva e interacción con el entorno desde un lugar seguro.

El sistema AMLC, es un sistema de Teleoperación directa, el sistema se encuentra con una estructura maestro-esclavo ya que el operador es el encargado de enviar las distintas órdenes y el robot las realiza en el entorno remoto.

El sistema debe contar con dos características importantes para que el operador pueda realizar las tareas en el entorno remoto, los cuales son un subsistema de visión y un subsistema de control, donde el subsistema de visión es el encargado de dar la sensación de inmersión sensorial al operador, mientras el subsistema de control es el encargado de realizar las tareas para la interacción con el entorno remoto.

El subsistema de visión cuenta con un micrófono, un parlante y sistema led para visión nocturna lo que le permite obtener un grado de telepresencia, que es lo deseado en el sistema.

2.8.2. DISEÑO DEL SISTEMA TELEOPERADO AMLC

En el diseño del sistema teleoperado se pretendía acoplar el sistema de control de servomotores a una plataforma humanoide, el mismo que se encuentre equipado con una cámara de video inalámbrica con un sistema de visión nocturna y audio bidireccional, el video y el control se lo realizara comunicando a la plataforma humanoide a través de un algún tipo de comunicación inalámbrica, que más adelante será definida. Por la parte del HMI se deseaba tener un sensor Kinect Microsoft para el control del robot y dos pantallas con un sistema de sonido para la percepción de telepresencia a través de la cámara.

La plataforma humanoide se comunica y envía audio y video inalámbricamente, por lo que decidió utilizar dos protocolos de comunicación, de esta manera para la cámara se

utiliza comunicación WIFI con un protocolo TCP/IP, y para el control de los movimientos de la plataforma humanoide se utiliza el protocolo Zigbee.

En este tipo de comunicación se vio la necesidad de utilizar dos computadores, el primer computador, es el encargado de realizar el procesamiento de imagen a través del sensor Kinect y transmitir los mismos hacia el controlador de la plataforma humanoide mediante el protocolo Zigbee, el segundo computador se encarga del control de cámara, y sistema de audio para la percepción de telepresencia a través de una red WIFI mediante el protocolo TCP/IP.

2.8.3. SISTEMA TELEOPERADO AMLC Y PLATAFORMA 17 DOF HUMANOID ROBOT

La plataforma humanoide 17 dof fue diseñada de manera que se puede acoplar servomotores estándar de distinto torque, es una kit de estructura hecha en aluminio y piezas cortadas en CNC, la plataforma final se le acoplo las parte de actuadores para los movimientos, sistema de control y sistema de alimentación, de esta manera la plataforma final cuanta con las siguientes especificaciones técnicas:

- Altura: 40cm
- Peso:1.7kg
- Batería: LIFE 2S 1200mA
- Servomotores: Tower pro MG995 (15kg.cm), Tower pro MG996R (12kg.cm), Hitech H311 (3kg.cm).
- Sistema de control: Arduino Mega 2560
- Shield Sensor 5.0

El sistema teleoperado utiliza la plataforma humanoide 17dof Humanoid robot en su versión final, la cual posee 17 servomotores, para el control de sus extremidades, y una cámara de video wifi, para el subsistema de control en esta versión del sistema, se utiliza una tarjeta Arduino Mega 2560 conjuntamente con una shield sensor, con un sistema de comunicación inalámbrica mediante módulos Xbee los cuales utilizan el protocolo Zigbee, mientras que en el subsistema de visión se utiliza una cámara IP con el sistema PTZ, para dar el grado de telepresencia al operador, la misma que utiliza el protocolo TCP/IP para la transmisión de datos hacia el computador.



Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura II -11 17 dof Humanoid Robot

Con esta versión la plataforma humanoide se encuentra en modo suspendido, debido a su inestabilidad puesto que es un prototipo casero, al cual se le adaptó actuadores estándar para las extremidades, y tampoco contó con un sistema de control propio.

2.8.4. SISTEMA TELEOPERADO AMLC Y PLATAFORMA HUMANOIDE

ROBOPHILO

La plataforma Robophilo fue diseñada por la compañía Robobrothers Inc, la cual por sus 20 grados de libertad y puesto que fue desarrollada como prototipo de investigación en el campo de la robótica es ideal para esta versión del sistema en cual cuenta con los siguientes datos técnicos:

CARACTERISTICAS PHILO
<ul style="list-style-type: none">• Altura: 33.02 cm
<ul style="list-style-type: none">• Peso: 1.2 Kg con la batería incluida
<ul style="list-style-type: none">• Batería: 6 V 700mA NiMh
<ul style="list-style-type: none">• Servomotores: SV 2030 (1.3 kg.cm), SV 4104 (6.5kg.cm), SV 4032 (4.1 kg.cm)
<ul style="list-style-type: none">• Sistema de control: ATmega 32 – 16P

Fuente: http://www.robobrothers.com/Technical_Center.html

Tabla II – I características Robophilo

En esta versión del sistema se puede hacer uso de la opción planicie, por lo cual la plataforma gracias a su estabilidad se puede mantener firme en el suelo, se implementó ya el uso de dos computadores dedicados, como se planteó en el sistema inicial.

En el subsistema de control se reemplazó la placa Arduino Mega 2560 y la shield sensor por una tarjeta controladora que utiliza un Atmega640, para el subsistema de comunicación se siguen manteniendo el módulo Xbee.



Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura II -12 Robophilo Humanoid Robot

2.8.5. SENSOR KINECT

Inicialmente conocido como el nombre código Project Natal, Kinect es un sensor de movimiento para juegos y entretenimiento, creado por Alex Kipman, desarrollado por Microsoft para la consola Xbox 360, y desde junio de 2011 para la PC con Windows 7 y Windows 8 Kinect permite a los usuarios para controlar e interactuar sin tener contacto físico con una consola de juegos de video tradicional, a través de una interfaz de usuario natural que reconoce gestos, comandos de voz, objetos e imágenes [20]



Fuente: http://blog.mic-belgique.be/wp-content/uploads/2012/04/KinectforWindows-Sensor-facing-forward_h_cL.jpeg

Figura II -13 Microsoft Kinect

2.8.5.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS

Sensor Kinect es una barra horizontal, de unos 23 cm (9 pulgadas) unido a una pequeña base circular con un eje de rotación tipo rótula, diseñado para ser colocado por encima o por debajo de la pantalla de vídeo longitudinalmente. [20]

El dispositivo cuenta con una cámara RGB, un sensor de profundidad, un micrófono de múltiples matrices y un procesador personalizado que ejecuta el software patentado, que proporciona captura de movimiento de todo el cuerpo en 3D, reconocimiento facial y capacidades de reconocimiento de voz. [20][21]

Especificaciones

Sensores

- Lentes de color y sensación de profundidad
- Micrófono multi-arreglo
- Ajuste de sensor con su motor de inclinación
- Totalmente compatible con las consolas existentes de Xbox 360

Campo de visión

- Campo de visión horizontal: 57 grados
- Campo de visión vertical: 43 grados
- Rango de inclinación física: ± 27 grados
- Rango de profundidad del sensor: 1,2 - 3,5 metros

Data Streams (Flujo de datos)

- 320×240 a 16 bits de profundidad @ 30fps
- 640×480 32-bit de color @30fps

- Audio de 16-bit @ 16 kHz

Sistema de Seguimiento

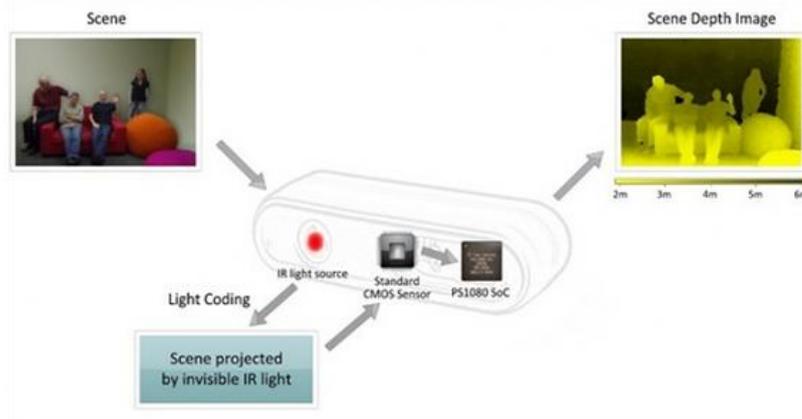
- Rastrea hasta 6 personas, incluyendo 2 jugadores activos
- Rastrea 20 articulaciones por jugador activo
- Capacidad para mapear jugadores activos en Live Avatars

Sistema de audio

- Chat en vivo y voz dentro del juego (requiere Xbox Live Gold)
- Sistema de cancelación de eco que aumenta la entrada de voz
- Reconocimiento de voz múltiple

2.8.5.2. FUNCIONAMIENTO

Antiguos programas de software utilizaban las diferencias en color y textura para distinguir los objetos del fondo. PrimeSense, la compañía que desarrolló Kinect, y la compañía recientemente adquirida por Microsoft, Canesta, utilizan un modelo diferente. La cámara transmite luz invisible para nosotros, cercana en el espectro a los infrarrojos y puede conocer el tiempo que tarda la luz en volver al sensor tras reflejarse en los objetos. Canesta es una empresa fabricante de chips que hacen que los dispositivos electrónicos reaccionen a los movimientos del usuario, creando interfaces que no necesitan periféricos con botones que sean sujetados con la mano y conectados por cable.



Fuente: <http://i202.photobucket.com/albums/aa30/ktmx0025/Kinect/how-motion-detector-works-kinect-primesense.png>

Figura II -14 Funcionamiento Microsoft Kinect

El sensor actúa como un sonar, la operación no es teóricamente complicada, si se conoce el tiempo de cada salida y llegada de la luz tras reflejarse en un objeto, sabiendo la velocidad absoluta de la luz, se puede tener la distancia a la cual se encuentra ese objeto. En un gran campo visual de objetos, la cámara Kinect intenta reconocer lo lejos o cerca de los objetos, distinguiendo el movimiento en tiempo real. Kinect puede distinguir la profundidad de cada objeto con diferencias de 1 cm y su altura y anchura con diferencias de 3 mm.

El hardware consiste cámara Kinect y de infrarrojos, se añade a un procesador que utiliza algoritmos para procesar las imágenes tridimensionales.

El procesador es capaz de interpretar los movimientos que se registran en los objetos capturados por la cámara de Kinect en eventos con significado que aparecen en pantalla.

2.8.6. CAMARA IP

La cámara instalada en el sistema Teleoperado AMLC es una cámara ip WIFI, la cual cuenta con un sistema embebido Linux, con un procesador de 32 bits RSIC embebido,

además cuenta con un sistema PTZ y audio de dos vías lo que nos permite tener un grado de percepción de telepresencia.



Fuente: <http://www.easyn.com.es/manager/kingedit/attached/image.jpg>

Figura II -15 Cámara Ip

La cámara cuenta con una resolución VGA (640 * 480), con un lente estándar de 3.6 mm, cuenta con un sensor para visión nocturna, y admite distintos niveles de seguridad.

2.8.6.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS

- Soporta 10 idiomas
- Nombre de dominio libre acotados.
- Wi-Fi compatible con los estándares inalámbricos IEEE 802.11b / g.
- Vista Mobile permiten ver y grabar a distancia desde cualquier lugar en cualquier momento.
- Monitoreo de audio de dos vías.
- Auto iluminación LED IR para visión nocturna (hasta 10 metros)
- Certificado por Microsoft activeX,

2.8.7. ARDUINO MEGA 2560 R3

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el ATmega2560, cuenta con 54 entradas / salidas digitales (de los cuales 15 pueden utilizarse para salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas seriales), un 16MHz oscilador de cristal, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para apoyar al microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB, o alimentarla con un adaptador o la batería para empezar de CA a CC. Revisión 3, tiene las siguientes características nuevas:

Se a añadido pines SDA y SCL cerca al pin AREF y otros dos nuevos pernos colocados cerca del pin RESET, el IOREF que permiten a los escudos para adaptarse al voltaje suministrado desde la placa. ATmega 16U2 sustituir el 8U2.[23]

2.8.7.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS

Microcontroladores	ATmega2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Digital I / O Pins	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente continua para las E / S Pin	40 Ma
Corriente de la CC para Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB, 8 KB utilizado por el gestor de arranque
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

Tabla II – II características Arduino Mega



Fuente: http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3_Fronte.jpg

Figura II -16 Arduino Mega 2560

2.8.8. MODULO AXON II

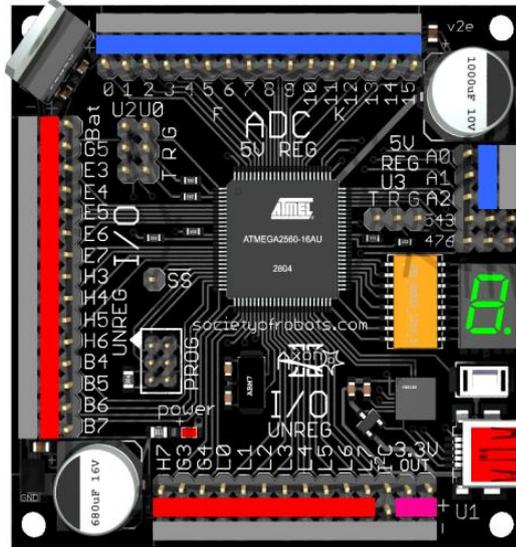
El Axon II fue desarrollado para los robots que van más allá de lo básico. Con la Axon II, tiene 58 entradas/salidas para utilizar. Dispone de 3 uart directamente, con un cuarto utilizado para una conexión USB directamente a su PC. Un total de 16 puertos ADC para todos sus sensores. Un gestor de arranque es pre-instalado de modo que se necesita ningún programador hardware. El Axon II utiliza las ATMEGA640 poderosos como su procesador, que por lo general ha 4x más memoria que otros controladores en el mercado. Por último, pesa 34 gramos, Axon II es el más pequeño y ligero de cualquier otro microcontrolador con todas las funciones comparables en el mercado. [24]

2.8.8.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS

58 I / O total	6 Temporizadores (cuatro de 16 bits, dos de 8 bits)
25 + Servos	64KB Flash, 4KB EEPROM, 8KB SRAM
3 UART + USB	15 Canales PWM

Fuente: <http://www.societyofrobots.com/axon2/>

Tabla II – III características AXON II



Fuente: <http://www.societyofrobots.com/axon2/>

Figura II -17 Modulo Axon II

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA AMLC

3.1. SOFTWARE DEL SISTEMA TELEOPERADO AMLC

3.1.1. PROCESAMIENTO DE SEÑALES DEL SENSOR KINECT

Kinect utiliza una cámara RGB que toma imágenes en color y dos cámaras de infrarrojos para medir la distancia de los elementos que están en el campo de visión. Con el Kinect para Windows SDK, podemos obtener los datos de la cámara y trabajar con ellos para utilizar en nuestras aplicaciones.

Las imágenes que se obtienen del sensor se codifican en un vector de bytes. Para entender esta codificación hay que saber primero como se estructura una imagen.

Una imagen se compone de un conjunto de píxeles. Cada pixel de la imagen tiene 4 componentes que representan los valores de los colores rojo, verde y azul más una componente que corresponde con el valor de transparencia (alfa), en el caso de imágenes RGBA, o un valor vacío, si es de tipo RGB.

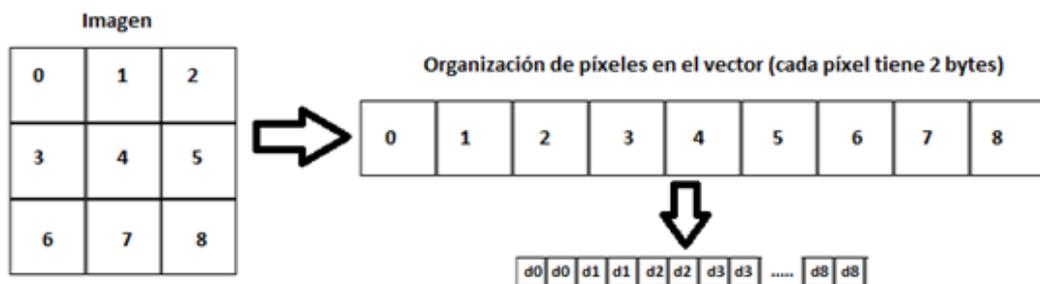


Fuente: Kinect for Windows SDK

Figura III -1 Componentes de imagen

Para usar las cámaras de profundidad el procedimiento varía. Al igual que con la cámara RGB también obtendremos un vector de bytes pero en esta ocasión esos bytes no corresponden con los valores de los componentes de un píxel sino con la distancia del píxel al sensor.

Al tener 2 cámaras de infrarrojos cada píxel se corresponde con 2 bytes en el vector siendo éstos el valor de la distancia de ese píxel a cada cámara. La organización de los píxeles es la misma que con la cámara RGB, los 2 primeros bytes es la distancia del píxel de la posición de arriba a la izquierda al sensor y los 2 últimos son del píxel de abajo a la derecha.

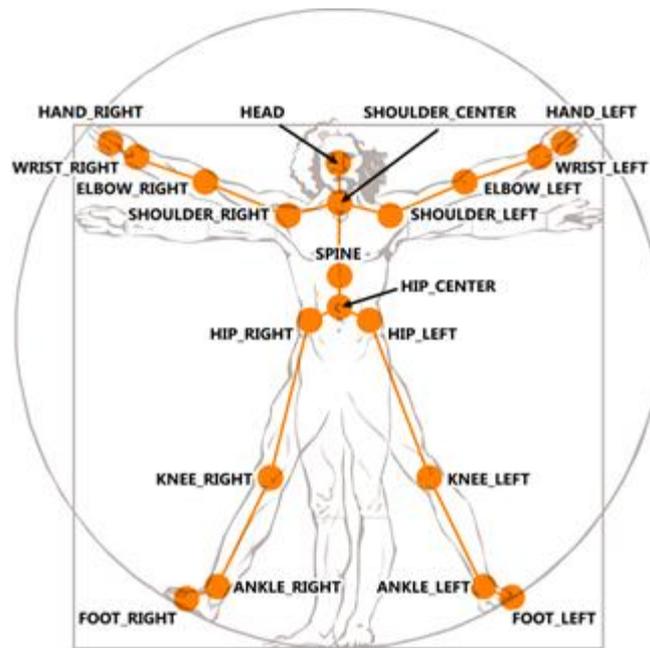


Fuente: Kinect for Windows SDK

Figura III -2 Organización de píxeles.

3.1.2. SEGUIMIENTO DE ESQUELETO

La funcionalidad estrella del sensor Kinect es el Skeletal tracking. Skeletal tracking significa seguimiento de esqueleto y se basa en un algoritmo que logra identificar partes del cuerpo de las personas que están en el campo de visión del sensor. Por medio de este algoritmo podemos obtener puntos que hacen referencia a las partes del cuerpo de una persona y hacer un seguimiento de éstos identificando gestos y/o posturas.[22]

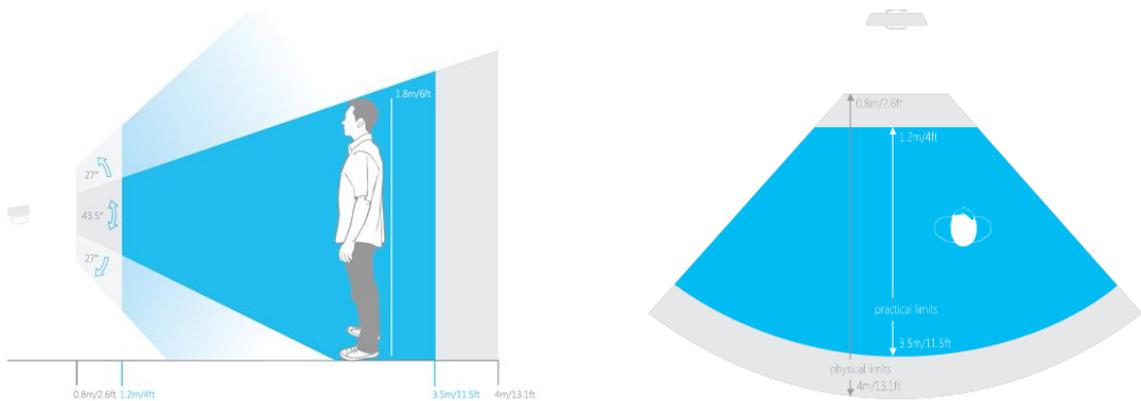


Fuente: Kinect for Windows SDK

Figura III -3 Puntos de referencia partes del cuerpo humano.

El SDK de Kinect nos permite obtener los puntos de articulaciones (Joints) del esqueleto y su posición en el espacio de una forma sencilla. El seguimiento de esqueleto está optimizado para reconocer a los usuarios de pie o sentado. Para ser reconocido, los usuarios sólo tienen que estar en frente del sensor, lo que hace que el sensor se pueda ver la cabeza y parte superior del cuerpo; ninguna acción pose o calibración específica necesita ser tomado para un usuario a realizar un seguimiento.

El campo de visión de los usuarios está determinado por la configuración de la cámara de infrarrojos, en el modo de rango por defecto, Kinect puede ver a la gente de pie entre 0,8 metros (2,6 pies) y 4,0 metros (13,1 pies) de distancia; los usuarios tendrán que ser capaces de utilizar sus brazos a esa distancia, lo que sugiere un rango práctico de 1.2 a 3.5 metros. En el modo de rango cercano, Kinect puede ver a la gente de pie entre 0,4 metros (1,3 pies) y 3,0 metros (9,8 pies); que tiene un intervalo práctico de 0,8 a 2,5 metros



Fuente: Kinect for Windows SDK

Figura III -4 Rango de visión Kinect.

Obtención de datos

La obtención de los datos se lo hace a través de la clase SkeletonFrameReady propia del SDK Kinect, la cual nos permite obtener los Joints, en coordenadas x,y,z, se va obteniendo uno a uno los datos de cada Joint que nos presenta el Kinect y mediante la clase Math podemos hacer cálculos para obtener la posición de los Joint en el espacio.

A continuación se presenta la manera en que se obtuvo los Joint para el Sistema de Teleoperación.

Cabeza

```
Joint disCabeza =  
skeldata[skelok].Joints[JointType.Head];  
  
posxhd =  
Math.Round(wt*disCabeza.Position.X/2+wt/2,0);  
  
posyhd = Math.Round(ht*disCabeza.Position.Y/2+ht/2,0);  
  
poszhd = Math.Round(100*disCabeza.Position.Z);  
  
eecbzx.Content = (Math.Round(posxhd, 3)).ToString();  
eecbzy.Content = (Math.Round(posyhd, 3)).ToString();  
eecbzz.Content = (Math.Round(poszhd, 3)).ToString();
```

Hombro Izquierdo

```
Joint disHomIz =  
skeldata[skelok].Joints[JointType.ShoulderLeft];  
  
posxsl = Math.Round(wt*disHomIz.Position.X/2+wt/2,0);  
  
posysl = Math.Round(ht*disHomIz.Position.Y/2+ht/2,0);  
  
poszsl = Math.Round(100*disHomIz.Position.Z,0);  
  
eehmix.Content = (Math.Round(posxsl, 3)).ToString();  
eehmiy.Content = (Math.Round(posysl, 3)).ToString();  
eehmiz.Content = (Math.Round(poszsl, 3)).ToString();
```

Hombro Derecho

```
Joint disHomDer =  
skeldata[skelok].Joints[JointType.ShoulderRight];  
  
posxsr =  
Math.Round(wt*disHomDer.Position.X/2+wt/2,0);  
  
posysr =  
Math.Round(ht*disHomDer.Position.Y/2+ht/2,0);  
  
poszsr = Math.Round(100*disHomDer.Position.Z,0);  
  
eehmdx.Content = (Math.Round(posxsr, 3)).ToString();  
eehmdy.Content = (Math.Round(posysr, 3)).ToString();  
eehmdz.Content = (Math.Round(poszsr, 3)).ToString();
```

3.1.3. CINEMÁTICA INVERSA DEL ROBOT

El objeto del problema cinemático inverso consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot $q = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$ para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial.

Se ha desarrollado algunos procedimientos genéricos susceptibles de ser programados de modo que un computador pueda, a partir del conocimiento de la cinemática del robot con sus parámetros D-H, obtener la n-upla de valores articulares que posicionan y orientan su extremo, a la hora de resolver el problema de cinemática inversa es mucho más adecuado encontrar una solución cerrada, esto es encontrar una relación matemática explícita de la forma:

$$q_k = f_x(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) \quad (3.1)$$

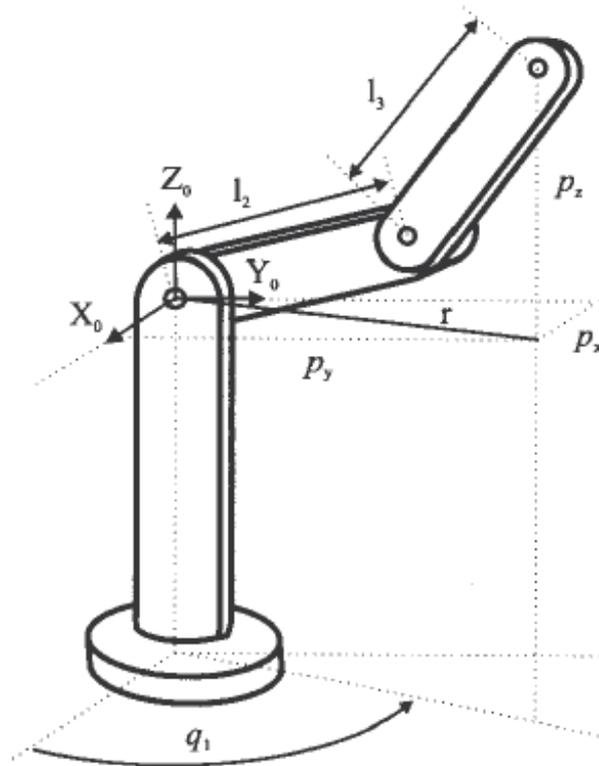
$$k = 1 \dots n \text{ (GDL)}$$

La mayor parte de los robots poseen cinemáticas relativamente simples que facilitan en cierta medida la resolución de su problema cinemático inverso. Por ejemplo si se consideran solo los tres primeros grados de libertad de muchos robots, estos tienen una estructura planar, esto es, los tres primeros elementos quedan contenidos en un plano. Esta circunstancia facilita la resolución del problema, así mismo en muchos robots se da la circunstancia de que los tres grados de libertad últimos, dedicados fundamentalmente a orientar el extremo del robot, corresponden a giros sobre ejes que se cortan en un punto. De nuevo esta circunstancia facilita el cálculo de la n-upla $[q_1, \dots, q_n]^T$ correspondientes a la posición y orientación deseadas por lo tanto para los casos citados y otros, es posible establecer ciertas pautas generales que permitan plantear y resolver el problema cinemático inverso de una manera sistemática.

Los métodos geométricos permiten obtener normalmente los valores de las primeras variables articulares, que son las que consiguen posicionar el robot, para ello utilizan relaciones trigonométricas y geométricas sobre los elementos del robot. Se suele recurrir a la resolución de triángulos formados por los elementos y articulaciones del robot.

Como alternativa para resolver el mismo problema se puede recurrir a manipular directamente las ecuaciones correspondientes al problema cinemático directo, es decir se establece la relación:

$$\begin{bmatrix} n & o & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [t_{ij}] \quad (3.2)$$



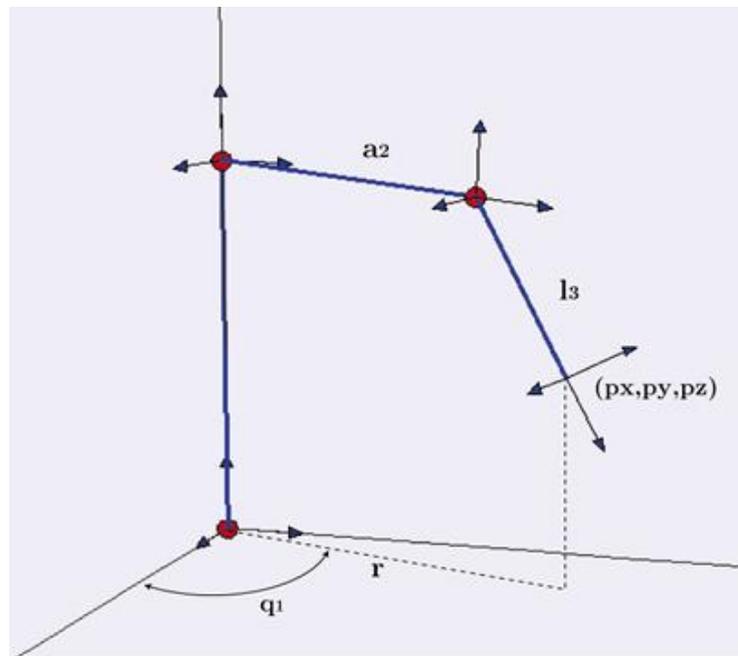
Fuente: Antonio Barrientos Fundamentos de Robótica

Figura III -5 Robot articular.

3.1.4. RESOLUCIÓN PROBLEMA CINEMÁTICO INVERSO POR MÉTODOS GEOMÉTRICOS

Este procedimiento es adecuado para robots de pocos grados de libertad o para el caso de que se consideren solo los primeros grados de libertad. En este caso tomaremos como referencia un robot con 3 GDL, tomando en cuenta que las plataformas utilizadas también cuenta con los mismo 3 GDL por cada extremidad.

El dato de partida son las coordenadas (p_x, p_y, p_z) , referidas a $\{S_0\}$, en las que se quiere posicionar su extremo. Como se puede observar en la figura III – 5, este robot posee una estructura plana, quedando este plano definido por el ángulo de la primera variable articular q_1 .

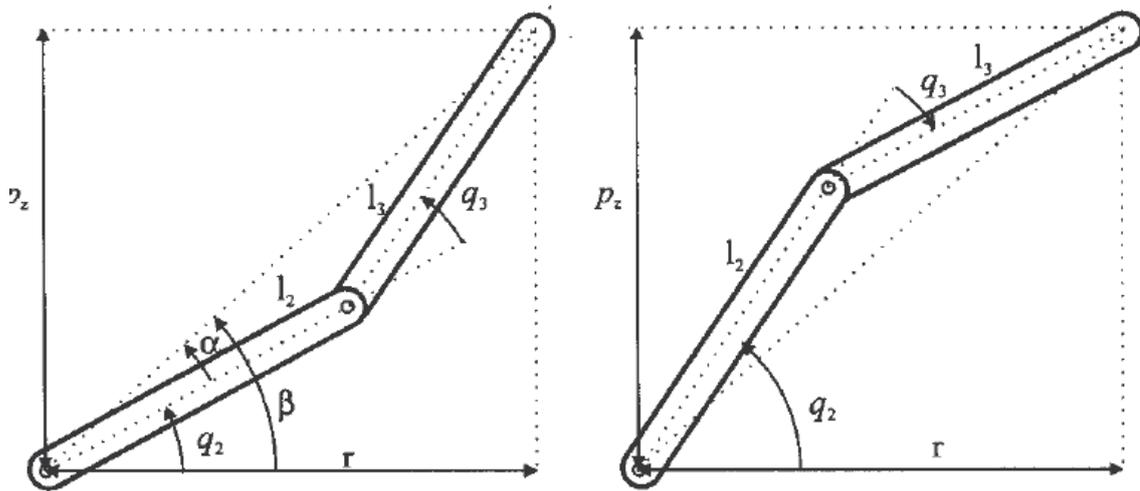


Fuente: <http://aurova.ua.es/robolab/imagenes/ciRRR.png>

Figura III -6 Robot 3 grados de libertad.

El valor de q_1 se obtiene:

$$q_1 = \tan^{-1} \frac{p_y}{p_x} \quad (3.3)$$



Fuente: Antonio Barrientos Fundamentos de Robótica

Figura III -7 elementos 2 y 3 robot articular

Considerando ahora únicamente los elementos 2 y 3 que están situados en un plano, y utilizando el teorema del coseno, se tendrá:

$$r^2 = p_x^2 + p_y^2 \quad (3.4)$$

$$r^2 + p_z^2 = l_2^2 + l_3^2 + 2 l_2 l_3 \cos q_3 \quad (3.5)$$

$$\cos q_3 = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2 l_2 l_3} \quad (3.6)$$

Esta ecuación permite obtener q_3 en función del vector de posición del extremo p . es más conveniente utilizar la expresión de arco tangente en lugar de arco seno puesto que:

$$\sin q_3 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 q_3} \quad (3.7)$$

Se tendrá:

$$q_3 = \arctg \left(\frac{\pm \sqrt{1 - \cos^2 q_3}}{\cos q_3} \right) \quad (3.8)$$

Existen dos posibles soluciones para q_3 , según se tome el signo positivo o el signo negativo en la raíz. Estas corresponden a las configuraciones de codo arriba y codo debajo de la **Figura III -7**.

El cálculo para q_2 se hace a partir de la diferencia en β y α :

$$q_2 = \beta - \alpha \quad (3.9)$$

Donde:

$$\beta = \arctg\left(\frac{pz}{r}\right) = \arctg\left(\frac{pz}{\pm\sqrt{px^2 + py^2}}\right) \quad (3.10)$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{l_3 \text{ sen } q_3}{l_2 + l_3 \text{ cos } q_3}\right) \quad (3.11)$$

Finalmente:

$$q_2 = \arctg\left(\frac{pz}{\pm\sqrt{px^2 + py^2}}\right) - \arctg\left(\frac{l_3 \text{ sen } q_3}{l_2 + l_3 \text{ cos } q_3}\right) \quad (3.12)$$

3.1.5. SOFTWARE SELECCIONADO PARA EL CONTROL

Para el uso adecuado del sensor Kinect se utiliza el lenguaje C, puesto que Microsoft lanzó el SDK para Windows basado en C, e incluye librerías como Skeletal tracking, que incorpora el seguimiento de una o dos personas, de la misma manera para la programación de la placa de desarrollo Arduino y la placa Axon II, se utiliza un lenguaje de programación basado en C, el cual nos permite obtener gran ventaja frente a otros lenguajes, el lenguaje C sirve para crear aplicaciones y software de sistemas, posee un conjunto completo de instrucciones de control, con los cuales se pueden definir todas las tareas dentro de un desarrollo web, con el lenguaje C se pueden trabajar un programa en

módulos lo que permite que se puedan compilar de modo independiente, el lenguaje C trabaja con librerías de funciones en las que básicamente solo se necesitan cambiar valores dentro de una aplicación dada.

Lo importante también es la seguridad que ofrece C, ya que no entrega solo los mecanismos básicos para tratar los datos que manipula con el hardware, esto hace que solo el programador pueda desarrollar el sistema. [25]

3.1.5.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO

Los algoritmos empleados en lenguaje C tanto para la plataforma 17 dof como para la plataforma Robophilo se utilizó AVR Studio 6.1 para la programación del módulo de control AXON II y un parche adicional para la programación de la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560.

Atmel ® Studio 6 es la plataforma de desarrollo integrado, para el desarrollo y la depuración de Atmel ARM, Atmel AVR-M y microcontroladores basados en aplicaciones. El Atmel Studio 6 IDP le ofrece un entorno integrado y fácil de usar para escribir, generar y depurar sus aplicaciones escritas en C / C ++ o ensamblador de código.

Atmel Studio 6 es gratuita y se integra con el software de estructura de Atmel (ASF)-una gran biblioteca de código libre con 1600 ARM y ejemplos de proyectos AVR. ASF fortalece el IDP al proporcionar, en el mismo entorno, el acceso al código listo para usar que reduce al mínimo la mayor parte del diseño de bajo nivel requerido para proyectos.[26]



Fuente: http://www.atmel.com/Images/studio6_overview_980x352_NO_CTA.jpg

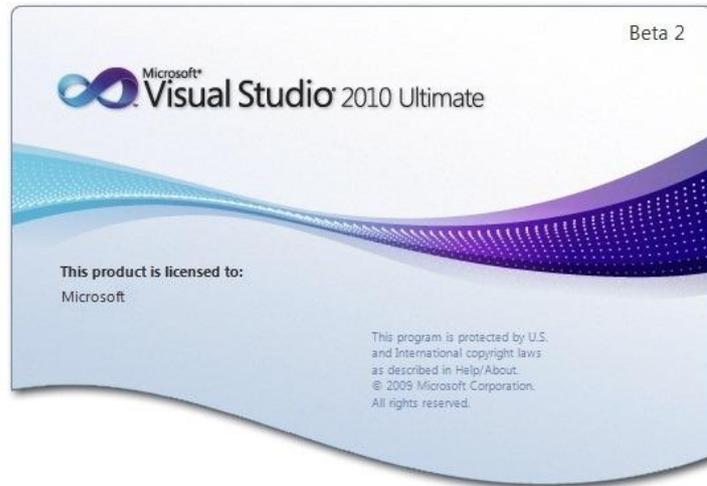
Figura III -8 Atmel Studio 6.

Para la adquisición de datos y uso del Kinect se utilizó el paquete de Microsoft visual Studio 2010, en C# y el SDK Kinect v1.7.

Visual Studio es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la producción de aplicaciones ASP.NET Web, servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles. Visual Basic, Visual C # y Visual C ++ todos utilizan el mismo entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite el intercambio de herramientas y facilita la creación de soluciones en diferentes idiomas. Además, estos lenguajes usan funciones NET Framework, que ofrece acceso a tecnologías clave para simplificar los servicios Web XML de desarrollo de aplicaciones Web y ASP. [27]

Visual C# es una implementación del lenguaje de C# de Microsoft. Visual Studio proporciona soporte para Visual C # con un completo editor de código, compilador, plantillas de proyecto, diseñadores, asistentes de código, eficiente y fácil de usar depurador y otras herramientas. Punto NET biblioteca de clases de Framework

proporciona acceso a muchos servicios del sistema operativo y otros útiles y bien diseñadas para acelerar significativamente las clases del ciclo de desarrollo. [27]



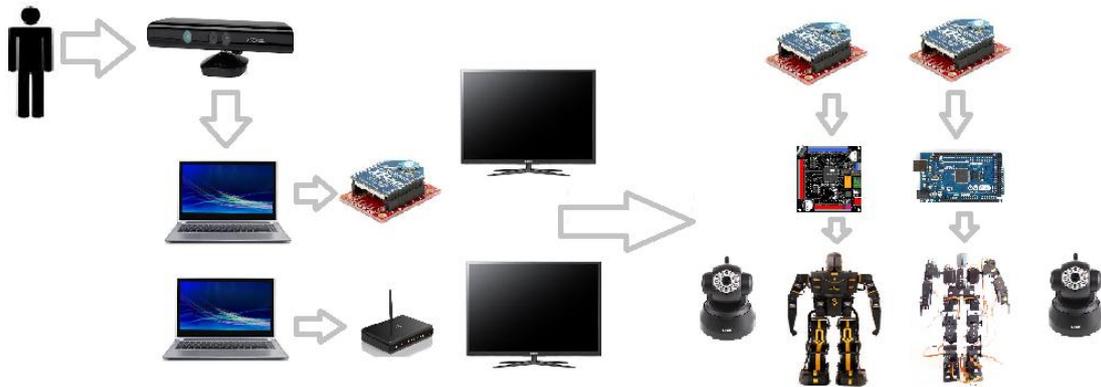
Fuente: <http://data.sinhvienit.net/2011/T12/img/SinhVienIT.NET---visual-studio-2010-ultimate.jpg>

Figura III -9 Microsoft Visual Studio 2010.

3.1.6. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema AMLC es un sistema teleoperado el cual posee un robot humanoide, el cual posee un sistema de visión artificial que tiene como objetivo proveer de telepresencia al operador hacia el lugar remoto donde se encuentra el robot humanoide, teniendo la capacidad de experimentar sensación visual, auditiva e interacción con el entorno desde un lugar seguro.

El sistema AMLC, es un sistema de Teleoperación directa, el sistema se encuentra con una estructura maestro-esclavo ya que el operador es el encargado de enviar las distintas órdenes y el robot las realiza en el entorno remoto.



Fuente: Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura III -10 Sistema Teleoperado AMLC.

3.1.6.1. COMUNICACIÓN PC Y MODULO DE CONTROL

3.1.6.1.1. USO DEL PROTOCOLO ZIGBEE PARA COMUNICACION

ZigBee es un estándar desarrollado por las comunicaciones inalámbricas ZigBee Alliance. Es un conjunto de soluciones estandarizadas que pueden ser implementadas por un conjunto de fabricante. ZigBee se basa en el estándar para redes de área personal inalámbricas (Wireless Personal Area Network, WPAN) IEEE 802.15.4 y está diseñado para aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de transmisión de comunicaciones de transmisión y maximizar el tiempo de vida digno de sus baterías.

ZigBee es un sistema ideal para las redes domésticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores y actuadores individuales. ZigBee fue creado para hacer frente a la necesidad del mercado de un sistema de bajo costo, un estándar para redes inalámbricas de pequeños paquetes de información, de energía eficientes, seguros y fiables. [28]

Características·

- Velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s.·

- Rangos de alcance son de 10 m a 75 m.
- Bandas libres ISM (6) de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU).
- Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver ZigBee dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas.
- Un sensor equipado con un transceiver ZigBee pueda ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años.
- La fabricación de un transmisor ZigBee consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente.
- Diferentes tipos de topologías como estrella, punto a punto, malla, árbol. Acceso de canal mediante CSMA/CA(7) (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).

Ventajas.

- Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto. Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.
- Opera en la banda libre de ISM 2.4 Ghz para conexiones inalámbricas.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.
- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
- Bajo ciclo de trabajo - Proporciona larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.

- Provee conexiones seguras entre dispositivos. Son más baratos y de construcción más sencilla.

Desventajas

- La tasa de transferencia es muy baja.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías.
- Zigbee trabaja de manera que no puede ser compatible con bluetooth en todos sus aspectos porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos.

3.1.6.1.2. MODULO DE TRANSMISION INALAMBRICA XBEE

Los módulos Xbee proveen 2 formas de fácil comunicación: Transmisión serial transparente (modo AT) y el modo API lo cual brinda una serie de ventajas. Estos módulos pueden ser programados desde el PC utilizando el programa X-CTU o a través del microcontrolador. Los Xbee pueden establecer comunicación en arquitecturas punto a punto, punto a multi punto o en una red mesh. La elección del módulo XBee correcto pasa por escoger el tipo de antena (chip, alambre o conector SMA) y la potencia de transmisión (2mW para 300 pies o 60mW para hasta 1 milla) [29]

Configuración de los módulos Xbee

Se hace uso de la placa Xbee EXPLORER la cual se conecta por medio del puerto USB. Para ello utiliza un conector USB el cual luego se conecta al PC. Por medio de este puerto logra la alimentación necesaria para alimentar el módem Xbee.

Para poder utilizar el módulo, es necesario instalar los driver llamados VCP (Virtual

COM Port), que simulan que el Xbee está conectado a un puerto serial, aun cuando está desconectado. Luego se debe conectar la placa Xbee Explorer al puerto USB, y aparecerá una ventana para instalar los driver. Se indica la dirección de los drivers bajados anteriormente y se instalan en el sistema operativo.

Para poder configurar los módulos Xbee se instala la aplicación X-CTU.

X-CTU es una aplicación basada en Windows proporcionada por Digi, este programa está diseñado para proporcionar un fácil uso de la interfaz gráfica de usuario para configuración de módulos Xbee.

Una vez instalada la aplicación ejecutamos la misma y conectamos el Xbee EXPLORER junto con el módulo Xbee para su configuración por primera vez. Para lo cual se debe tener en cuenta los siguientes parámetros.[29]

PAN ID: es el número de la red de área local personal se trata de un identificador único para la red, solo los Xbee asignados a un PAN ID pueden comunicarse entre sí.

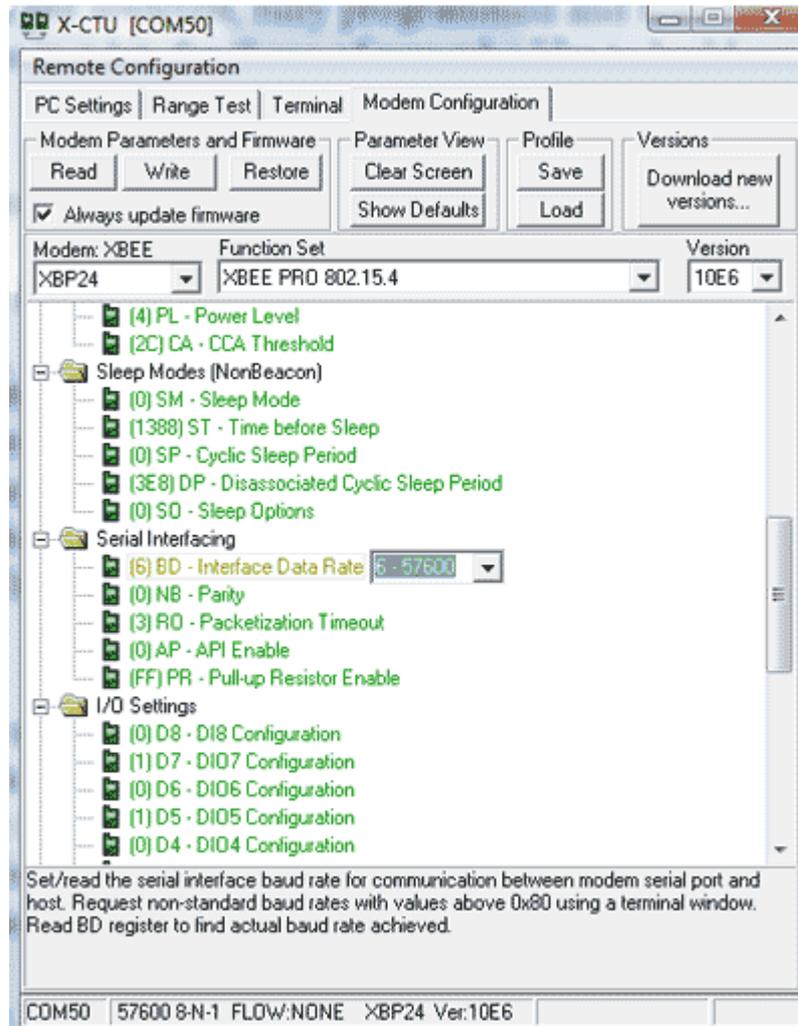
My Address: esta es la dirección de origen de un Xbee, es una dirección única para cada unidad en particular.

DH- Destination Address High: representa la primera mitad de la dirección que se quiere habilitar.

DL- Destination Address Low: esta es la dirección que se usara para la localización del Xbee.

Coordinador Enable: asigna cuál de los módulos Xbee es el dispositivo coordinador y cuál es el dispositivo final.

Interface Data Read: indica la velocidad de transmisión.



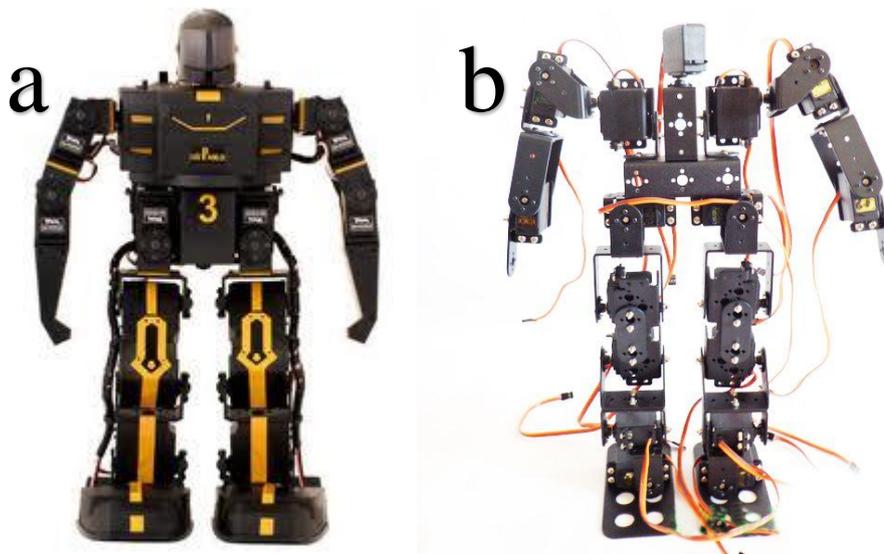
Fuente: http://api.ning.com/files/VmRfxWz3-PUB3Ozf9wsURLhp2KiTGVCYthVYuZXBuigMytWzx1QlCQb2uTypH8Fg2waYXCZTA-ZhdYtA7pEu5g_/Xctu.png

Figura III -11 Configuración X-CTU Modulo de comunicación inalámbrica.

3.2. HARDWARE DEL SISTEMA TELEOPERADO AMLC

3.2.1. PLATADORMAS HUMANOIDE

Se ha utilizados dos plataformas humanoides para poder desarrollar este sistema y poder demostrar la adaptación del sistema en plataformas humanoides con la utilización de servomotores y distintas placas de control.



Fuente: Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura III -8 a) plataforma robophilo, b) plataforma 17 dof

3.2.1.1. PLATAFORMA ROBOTICA ROBOPHILO

Diseñado en los Estados Unidos, RoboPhilo tiene 20 servos que permiten el movimiento de giro de la cabeza, la cintura y los muslos, además de movimiento de la articulación normal de las extremidades. RoboPhilo, cuenta con un controlador de robot de gran alcance con 24 canales disponibles servo y hasta 8 I / O interfaces. Un núcleo especializado impulsado interrupción se utiliza para controlar el movimiento y los controles remotos de la demanda. RoboPhilo es fácilmente programable directamente desde PC (a través de RS-232) para permitir a diseñar y llevar a cabo movimientos personalizados. [30]

Especificaciones

- Controlado por ATmega32 - 16PU Microcontroladores
- 24 canales disponibles (20 utilizado por servos y 4 restante para sensores u otros actuadores)

- Batería de 6V 700mAh NiMH y el cargador de 7.2V 1000mA (100-240 VAC 50/60Hz)
- Servos: SV 4032 (4.1kg-cm), SV 4104 (6.5Kg-cm), SV 2030 (1.3Kg-cm)
- Compatible con Windows XP, Vista y 7 de 32 bits y de 64 bits

3.2.1.2. PLATAFORMA ROBOTICA 17 DOF

La plataforma 17 dof en una estructura robótica de 17 grados de libertad con piezas cortados en un maquina CNC, en un material de aluminio. Es una plataforma en la cual se pueden utilizar diferentes servomotores estándar, lo cual permite una mayor versatilidad en el uso de servo motores de distinto torque y velocidad.

La plataforma consta de las siguientes partes con sus grados de libertad

- 1DOF de la cabeza
- 4DOF del brazo
- 2DOF del hombro
- 2DOF de la cadera
- 6DOF de las piernas
- 2DOF de los pies

En esta plataforma se puede apreciar de mejor manera la parte mecánica y estructural de un robot humanoide, dando una flexibilidad en su diseño, y poder adaptarla a ciertas necesidades en sus aplicaciones prácticas.

3.2.2. MÓDULOS PARA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

3.2.2.1. MÓDULO XBEE

Una buena manera de añadir conectividad inalámbrica a un proyecto utilizando los módulos XBee. Módulos XBee ofrecen dos modos de transporte respetuosos de comunicación: transmisión serial transparente (modo AT) y el modo API que ofrece muchos beneficios. Los módulos XBee se pueden configurar desde el PC utilizando el programa X-CTU o microcontrolador. El XBee establece comunicación en diversas arquitecturas, como punto a punto, punto a multi-punto o red de malla. La elección del módulo XBee el tipo de antena (chip o SMA cable conector) y la potencia de transmisión (2 mW y 60 mW a 300 pies o hasta 1 milla).

La Serie 1 y Serie XBee 2 radios tienen el mismo footprint, y en su mayor parte son pin a pin compatible (hay algunas diferencias en la ubicación del ADC y los pines de E/S), pero NO son interoperables. Serie 1 y Serie 2 utilizan diferentes perfiles de aplicación, que son únicas para cada familia de radio. Sin embargo, pueden utilizar las mismas tarjetas de interfaz Xbee Explorer Serial y USB.

Puesto que las especificaciones de hardware no son muy diferentes, las diferencias entre XBee Serie 1 y 2 son más evidentes en las especificaciones del firmware.

XBee 802.15.4 La Serie 1 viene con firmware 802.15.4 que permite redes punto a punto o de topología en estrella. Este firmware ofrece ADC (conversión analógica-digital), entradas y salidas digitales, y 128-bit AES. XBee Serie 2 no ofrece ninguna clase de firmware 802.15.4, sino que siempre se está ejecutando el firmware de ZigBee mesh. 802.15.4 es mucho más rápido que ZigBee. Latencias en 802.15.4 se pueden calcular, mientras que no se tiene información de latencia para la Serie 2. [29]

3.2.2.1.1. ADAPTADORES XBEE EXPLORER REGULADO Y XBEE EXPLORER USB

Los módulos Xbee pueden ser usados con adaptadores Xbee Explorer Serial o Xbee Explorer USB . Aquellos microcontroladores que trabajan con 5V necesitarán de una interfaz (Xbee regulated) para comunicarse con los módulos XBee.

Debido a que los módulos Xbee tienen una separación de pines de 2mm se recomienda utilizar una de tarjeta adaptadora. La tarjeta permiten conectar los módulos Xbee en cualquier protoboard estándar con separación de 0.1 pulgadas. Si va a comunicar un módulo Xbee con un PC se recomienda utilizar el adaptador USB que va a permitir configurar el módulo fácilmente y probar la configuración antes de utilizar el módulo en una red punto a punto.

XBEE EXPLORER USB

Se trata de un adaptador sencillo de usar, USB a la unidad base de serie para la línea de Digi XBee. Esta unidad funciona con todos los módulos XBee incluyendo la Serie 1 y la Serie 2.5, versión estándar y Pro. Conecte la unidad en el Explorador de XBee, conecte un cable mini USB, o directamente a la entrada USB de su computador, tendrá acceso directo a los pines de serie y de programación de la unidad XBee.

El punto culminante de esta placa es un convertidor de USB a serie FT231X. Eso es lo que traduce los datos entre el ordenador y el XBee. También hay un botón de reinicio, y un regulador de voltaje para suministrar el XBee con mucha potencia. Además, hay cuatro LEDs que te ayudarán en caso de que tenga que depurar el XBee: RX, TX, RSSI (indicador de intensidad de la señal), y el indicador de encendido.

Este consejo también se desata cada uno de los pines del XBee de E / S a un par de colectores compatible con protoboard. Así que si usted desea hacer uso de la funcionalidad extendida de la XBee, puede soldar algunos pines de cabecera. [31]

XBEE EXPLORER REGULADO

El Explorador de XBee Regulado se encarga de la regulación 3.3V, acondicionamiento de señales, y los indicadores básicos de la actividad (alimentación, RSSI y LED de actividad de la norma DIN / DOUT). Se traduce las señales de serie de 5V a 3.3V para que pueda conectar un 5V (a 3,3 V) del sistema a cualquier módulo XBee. La junta fue convenientemente diseñada para acoplarse directamente con Arduino Pro tableros para bootloading inalámbrica y la configuración USB.

Esta unidad funciona con todos los módulos XBee incluyendo las Series 1 y 2, las versiones estándar y Pro. Conecte un XBee en esta ruptura y usted tendrá acceso directo a los pines de serie y de programación de la unidad XBee y será capaz de alimentar el XBee con 5V.

Esta placa viene totalmente dotada con regulador de 3,3 V (entrada máxima 12V), zócalo XBee, cuatro LEDs de estado, y el cambio de nivel. [31]

3.2.3. CÁMARA IP WIFI

Para el subsistema de telepresencia se utiliza una cama ip con tecnología wifi la cual cuenta con un sistema ptz, Monitor de apoyo a través del teléfono móvil o el ordenador. en los programas informáticos, fácil de instalar el ActiveX de IE, soporta iPhone y Android teléfono, Proporcionar un software especial para el iPhone y teléfonos Android, no hay necesidad de hacer el reenvío de puertos para darse cuenta de plug and play.

Sistema de operación basado en Linux embebido, con un microprocesador de 32 bits, se hace uso de su micrófono y altavoz incorporado para la telepresencia del sistema

3.2.4. SENSOR KINECT

Skeletal Tracking hace uso del Kinect para reconocer a las personas y seguir sus acciones.

Usando el infrarrojo (IR) de la cámara, Kinect puede reconocer hasta seis usuarios en el campo de visión del sensor. De estos, hasta dos usuarios pueden ser rastreados en detalle.

Una aplicación puede localizar las articulaciones de los usuarios rastreados en el espacio y el seguimiento de sus movimientos en el tiempo.

Skeletal Tracking está optimizado para reconocer a los usuarios de pie o sentado, y frente al Kinect; de lado poses proporcionar algunos retos con respecto a la parte del usuario que no es visible para el sensor.

Para ser reconocidos, los usuarios sólo tienen que estar en frente del sensor, asegurándose de que el sensor puede ver su cabeza y parte superior del cuerpo; no representan específica o acción de calibración tiene que ser tomado por un usuario para realizar un seguimiento.

3.2.5. ARDUINO MEGA 2560

Los Atmega2560 en la Mega Arduino viene precargado con un gestor de arranque que le permite cargar nuevo código a la misma sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica utilizando el original STK500 protocolo (referencia, archivos de cabecera C).

También puede pasar por alto el gestor de arranque y programar el microcontrolador a través del ICSP (In-Circuit Serial Programming)

El Arduino Mega 2560 tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, otro Arduino, u otros microcontroladores. El Atmega2560 ofrece cuatro hardware UART para TTL (5V) de comunicación serial. Un ATmega16U2 (ATmega 8U2 sobre la revisión y revisión 1 2 tablas) en los canales de subir a uno de ellos a través de USB y proporciona un puerto com virtual para software en el equipo (máquinas de Windows necesitará un archivo inf, pero las máquinas OSX y Linux reconocer la junta como un puerto COM automáticamente.

3.2.6. TARJETA DE DESARROLLO AXON II

El Axon II fue desarrollado para robots que van más allá de lo básico. La Axon II, cuenta con 58 pines I/O para que usted pueda utilizar. Tiene 3 UART disponibles directamente, con un cuarto utilizado para una conexión USB directamente a PC. Un total de 16 puertos ADC para sensores. Un gestor de arranque es lo que se necesita ningún programador hardware preinstalado.

Más específicamente, la Axon II es el mejor microcontrolador en el mercado para los robots de varios brazos, como bípedos, arañas, y los brazos del robot. A diferencia de muchos otros microcontroladores robot en el mercado, no hay cableado tablero desordenado adicional o escudos caros son necesarios para hacer que su robot. Es 100% plug-n-play - no requiere alimentación externa para conectar servos o sensores, tomando literalmente minutos para configurar.

El Axon II utiliza los ATmega640 poderosos como su procesador, que por lo general ha cuatro veces más memoria que otros controladores en el mercado, por último, tiene un peso de 34 gramos.

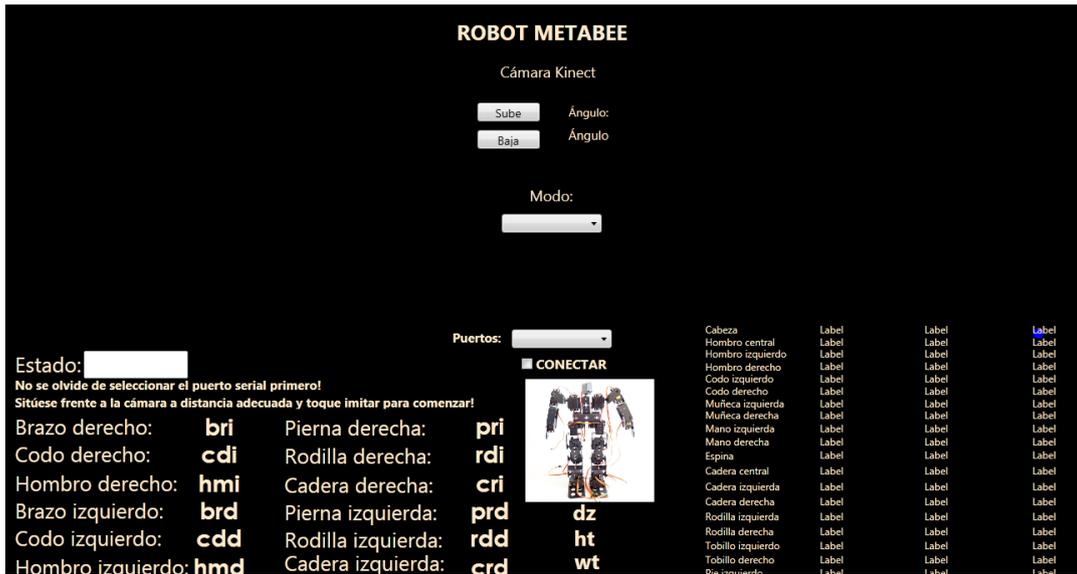
CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta una muestra de los datos obtenidos para los cálculos respectivos así como una comparación entre el ángulo que nos da el robot humanoide con el ángulo que presenta el operador, con el uso de instrumentos de medición, recordando siempre que las extremidades tienen restricciones en sus movimientos con un grado de libertad definido.

4.1. PRUEBAS PUNTOS DE REFERENCIA

En el HMI del sistema se puede visualizar tres columnas donde se visualiza la variación de los datos en los ejes X, Y, Z, los cuales van oscilando en función de los movimientos que se realiza el operador. De esta manera se puede tener una visión más amplia de los movimientos que va a realizar el robot a través del operador, y ubicar de mejor manera los puntos de referencia en el espacio, mediante el uso de cinemática inversa.



Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura IV -1 HMI obtención de datos

Distancia para el funcionamiento del Sistema

Distancia (centímetros)	Resultado
80	Fuera de rango
120	Fuera de rango
160	Fuera de rango
200	Fuera de rango
220	Fuera de rango
230	Fuera de rango
240	Fuera de rango
250	Dentro del rango (retroceder)

Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Tabla IV -I Tabla de distancia

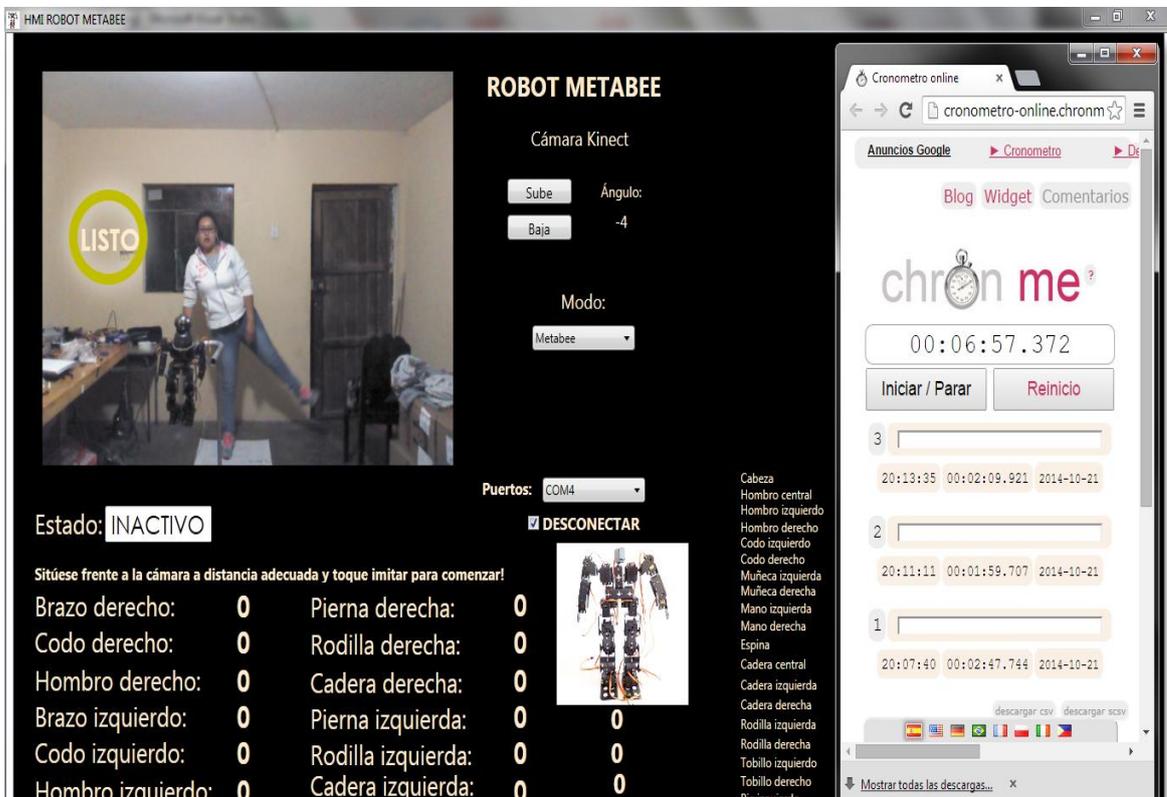
Distancia (centímetros)	Resultado
260	Rango optimo
270	Dentro del rango (avanzar)
280	Fuera de rango

Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Tabla IV -I Tabla de distancia (continuación)

En cuanto a la distancia se determinó que el rango de funcionamiento esta entre 250 centímetros y 270 centímetros, donde se determinó que la distancia ideal para el funcionamiento es de 260 centímetros.

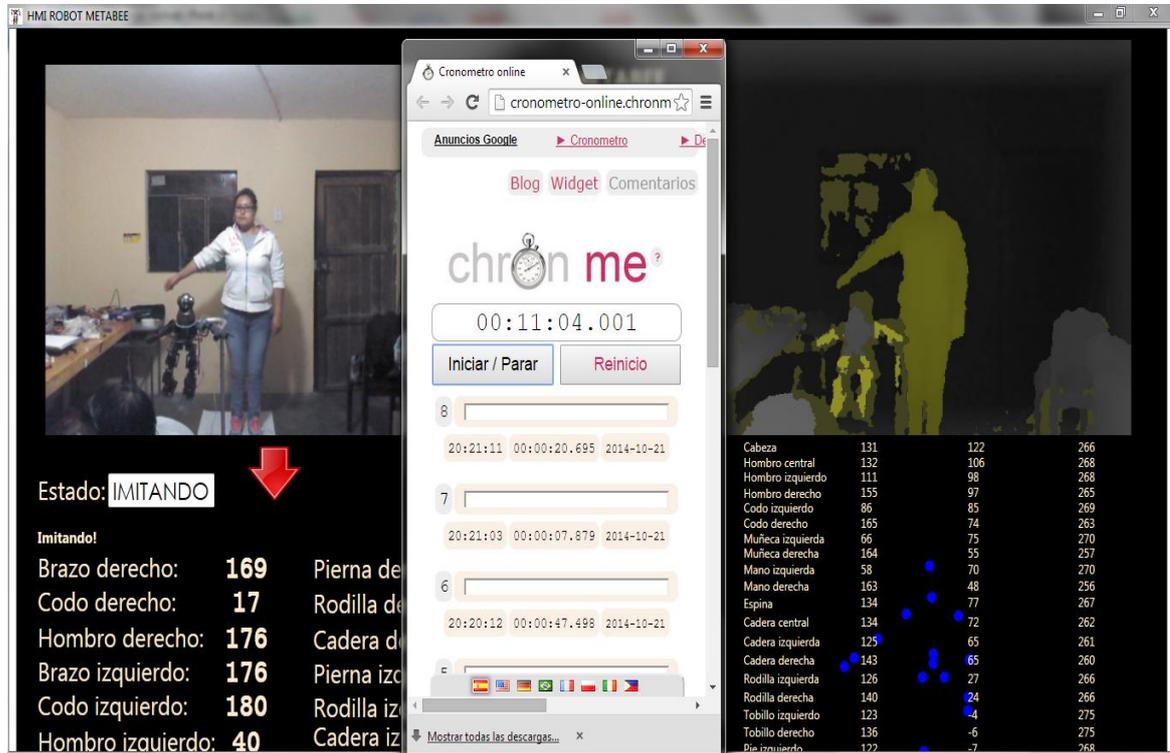
Tiempo funcionamiento del robot



Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura IV -2 Funcionamiento normal del robot

Al realizar la prueba con la mayor cantidad de movimientos posibles se determinó que el tiempo máximo de funcionamiento sin retardos es de, **6 minutos y 57 segundos**. Usando una batería life de 6.6 voltios y 1200 miliamperios.



Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura IV -3 Funcionamiento final

El robot humanoide tiene un funcionamiento máximo de **11 minutos y 4 segundos**, donde ya se evidencia retardos con los movimientos y el robot pierde la comunicación por lo cual ya no puede funcionar.

Pruebas de movimiento

Una vez obtenida los datos tanto en los ejes X, Y, Z, podemos realizar los distintos cálculos para cada extremidad recordando las restricciones de cada extremidad por

naturaleza, de esta manera se ha obtenido los siguientes datos.



Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura IV -4 estado de reposo



Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura IV -5 movimientos básicos brazos



Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Figura IV -6 movimientos básicos pierna

H. IZQUIERO	M1	M2	M3	M4	M5	PROMEDIO
OPERADOR	42.5	43	43	43.5	44	43.2
ROBOT	41	40	40.5	41.5	40	40.6
H. DERECHO						
OPERADOR	42.5	43	43	43	43	42.9
ROBOT	42	42	42.5	40.5	41	42.5

Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Tabla IV -I Tabulación de datos

B. IZQUIERDO						
OPERADOR	55	55.5	56	55	56	55.5
ROBOT	58	57	57.5	57.5	58	57.6
B. DERECHO						
ROBOT	58	59	58.5	58.5	58.5	58.5
OPERADOR	61	61	60.5	60.5	60	60.6
C. IZQUIERDA						
OPERADOR	45	45.5	45.5	46	46	45.6
ROBOT	48	48.5	49	48	48	48.3
C. DERECHA						
OPERADOR	43	43.5	43.5	44	43.5	43.5
ROBOT	45.5	45.5	45	46	44.5	45.3
P. IZQUIERDA						
OPERADOR	129	130	129.5	129.5	129.5	129.5
ROBOT	131	131.5	132	132	130	156.5
P. DERECHA						
OPERADOR	128	128.5	127	127	127	127.5
ROBOT	130	130	129.5	129	129.5	129.6
C. IZQUIERDO						
OPERADOR	122	122.5	122.5	124	124	123
ROBOT	126	128	126.5	126.5	126	126.6
C. DERECHO						
OPERADOR	125	126	126.5	126.5	128	126.4
ROBOT	130	130.5	129	130.5	132	130.4

Fuente: Diego R. Ñacato E. (Autor)

Tabla IV -I Tabulación de datos (continuación)

La adquisición de datos es lo primordial por lo que las pruebas se realizaron con un rango de distancia entre 2.50 metros a 2.70 metros, en este rango el sistema funciona correctamente, al salir de este rango hay una pérdida de la adquisición de datos.

4.2. PRUEBAS DE CAMARA IP Y MODULO DE TRANSMISION

La cámara ip tiene un alcance que va en función del alcance del Router instalado para el sistema con lo cual se ha obtenido un rango de 15 metros a la redonda en el sistema con una red LAN básica.

El modulo en las especificación del fabricante nos menciona que tiene un rango de alcance de 90 metros, pero ya en la práctica se ha obtenido un rango de 20 metros en lugares cerrados.

CONCLUSIONES

- La comunicación serial es la manera más fiable y segura para la transmisión de datos desde el computador hacia el controlador de servomotores a través de módulos Xbee que tienen una gran eficiencia y no presenta pérdida de datos en el caso de estudio si se realiza una buena configuración de la red a la que está enlazado el módulo transmisor y el receptor.
- El sensor Kinect funciona de mejor manera siempre que se realice una calibración previa y ubicándose dentro del rango establecido para la adquisición de datos.
- El uso de sistemas teleoperados de este tipo ayudará a terapias con niños autistas de esta manera se puede tener una perspectiva más amplia de la situación del niño, mediante el uso de la telepresencia con la que cuenta el sistema se podrá tener un monitoreo más amplio del niño.
- El sistema presenta una interfaz de control de fácil uso y amigable orientada para el operador sin conocimientos previos de sistemas de este tipo.
- El uso de sistemas embebidos genera un gran consumo de energía, pero a la vez optimiza recursos y espacio en ambientes de reducido tamaño, de esta manera para la telepresencia se hace uso de un sistema embebido incorporado en la cámara ip.
- Al usar la tecnología Kinect podemos tener una mejora al momento de realizar el control con la implementación de más funciones, mediante el uso de los comandos de voz con los que cuenta el Kinect, esto será de gran ventaja para la optimización de recursos.

- Las tecnologías utilizadas se pueden aplicar a la vez en campos industriales para los usos en situaciones de riesgo donde el bienestar del operador esté en peligro, tomando en cuenta que la prevención es el primer paso para la seguridad.
- El subsistema de control con el subsistema de comunicación está dividido de tal manera que si en un momento dado el robot deja de funcionar, se podrá seguir teniendo la sensación de tele presencia que en su momento será de ayuda para saber el estado actual del robot.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el operador se ubique en un rango entre 2.50 metros a 2.70 metros, dentro de ese rango la distancia ideal para el correcto funcionamiento es de 2.60 metros y que el robot puede ser ubicado a una distancia de 15 metros para tener una mejor recepción de la comunicación.
- Es importante recordar que el sistema es de uso individual, más de un operador frente al sensor genera interferencia. Mientras el operador este haciendo uso del sistema evitar que otra persona se cruce frente al sensor, puesto que esto provocará pérdida de la adquisición de datos, reiniciando el sistema.
- El uso de baterías para el robot es muy importante, si no se tiene la suficiente corriente para energizar los servomotores el controlador de servomotores se reiniciará, se recomienda usar una batería de 1200 miliamperios y 6 voltios para tener un óptimo funcionamiento del robot cuando este sienta teleoperado

RESUMEN

RESUMEN

Diseño e implementación de un Sistema de Teleoperación para controlar un robot humanoide mediante un sensor Kinect con la finalidad de controlar movimientos de las extremidades de un robot humanoide de manera inalámbrica.

Se aplicó método experimental e investigativo para determinar el mejor funcionamiento, la óptima ejecución y control de precisión en el proceso de ejecución. El sistema se ha implementado utilizando software de visual studio 2010, librerías SDK (software development kit) de Microsoft para el control del sensor Kinect, una cámara inalámbrica conectada a un red local que dota de Telepresencia al sistema, una placa electrónica Arduino mega para el control de la plataforma humanoide que conectada a módulos de radio frecuencia transmisor y receptor lo controla. La plataforma robótica se elaboró mediante un kit humanoide de 15 grados de libertad, al que se modificó su parte mecánica para controlarlo desde el sistema que interactúa con el operador de forma visual y audible.

Mediante pruebas realizadas se demostró que se controla los movimientos de las extremidades del robot en un 95% sincronizados con los movimientos que realiza la persona que lo opera.

El sistema diseñado brinda un control óptimo de los movimientos de las extremidades del robot operado inalámbricamente, además permite que el operador tenga la percepción de hallarse en el entorno del robot (Telepresencia).

SUMMARY

A tele-operation system has been designed and implemented to control a humanoid robot through a Kinect sensor. It aims to control the moves of the humanoid robot's limbs wirelessly.

The experimental method was applied to determine the best running, execution, and precision control in the execution process. The system has been implemented by using 2010 visual studio software, SDK libraries (software development kit) of Microsoft to control the kinect sensor, the wireless camera connect to a local web providing telepresence system, a Arduino Mega microcontroller board for the humanoid kit was used to elaborate the humanoid platform of 15 joints. Its mechanical parts got modified to control if from the system interacting with the operator visually and audibly.

From the results, it was demonstrated that the moves of the robot's limbs are synchronized 95% with human ones.

The system has provided an optional control of robot's limb moves wirelessly. Besides, it has given the operator the feeling of being in the robot environment (telepresence).

GLOSARIO

Arduino.- es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

Axon II.- es el mejor microcontrolador en el mercado para los robots de varios brazos, como bípedos, arañas, y los brazos del robot, requiere alimentación externa para conectar servos o sensores, tomando literalmente minutos para configurar.

Cámara Ip.- es una cámara que emite las imágenes directamente a la red (intranet o internet) sin necesidad de un ordenador.

Data streaming.- flujo de datos

Batería Life.- también conocida simplemente como battery life es una batería de ion-litio con un cátodo de fosfato de hierro-litio: LiFePO

Servomotor.- es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición

Sensor.- es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Teleoperacion.- es aquél que permite gobernar un robot (controlar su movimiento y la fuerza ejercida) ubicado en una zona remota (puede que esté realmente muy lejos o puede que esté en un entorno hostil del que haya que proteger al operador) a través del manejo de un robot master localizado en el punto de trabajo del operador.

Telepresencia.- es un sistema de videoconferencia más avanzado, que evita los desplazamientos innecesarios, ahorra tiempos improductivos, acelera los procesos de decisión, mejora la comunicación y reduce las emisiones de Co2, como las que producen los desplazamientos por carretera o avión

Telerrobotica.- es el área de la robótica concerniente al control de robots desde la distancia, principalmente usando conexiones wireless (como Wi-Fi, Bluetooth, la Red del Espacio Profundo, y similares), conexiones "ancladas", o a través de Internet. Es una combinación de dos campos importantes, tele-operación y tele-presencia.

Xbee.- es el nombre comercial de Digi International para una familia de módulos de radio compatible con factor de forma. Las primeras radios XBee se introdujeron bajo la MaxStream marca en 2005 y se basan en el 802.15.4 estándar -2003 diseñado para conexiones punto a punto y las comunicaciones estelares en más de-the-air velocidades de transmisión de 250 kbit / s.

A
NEXOS

ANEXO 1

Este anexo contiene el Manual de usuario el cual detalla la manera adecuada para manipular el Sistema de Teleoperación

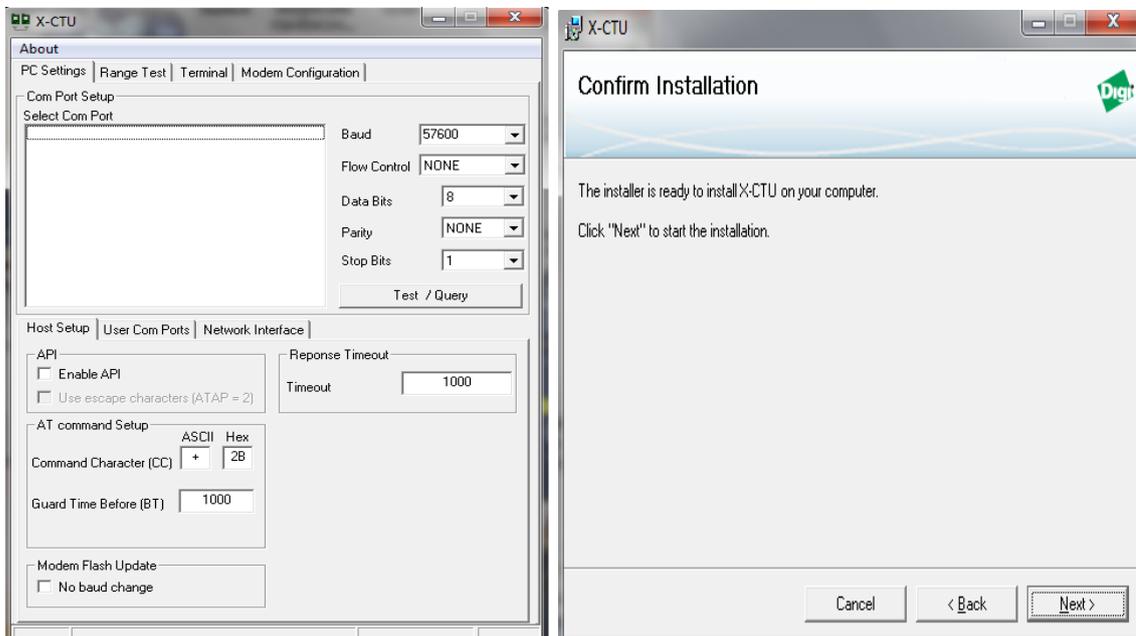
Manual de usuario

Instalación Software configuración de módulos inalámbricos

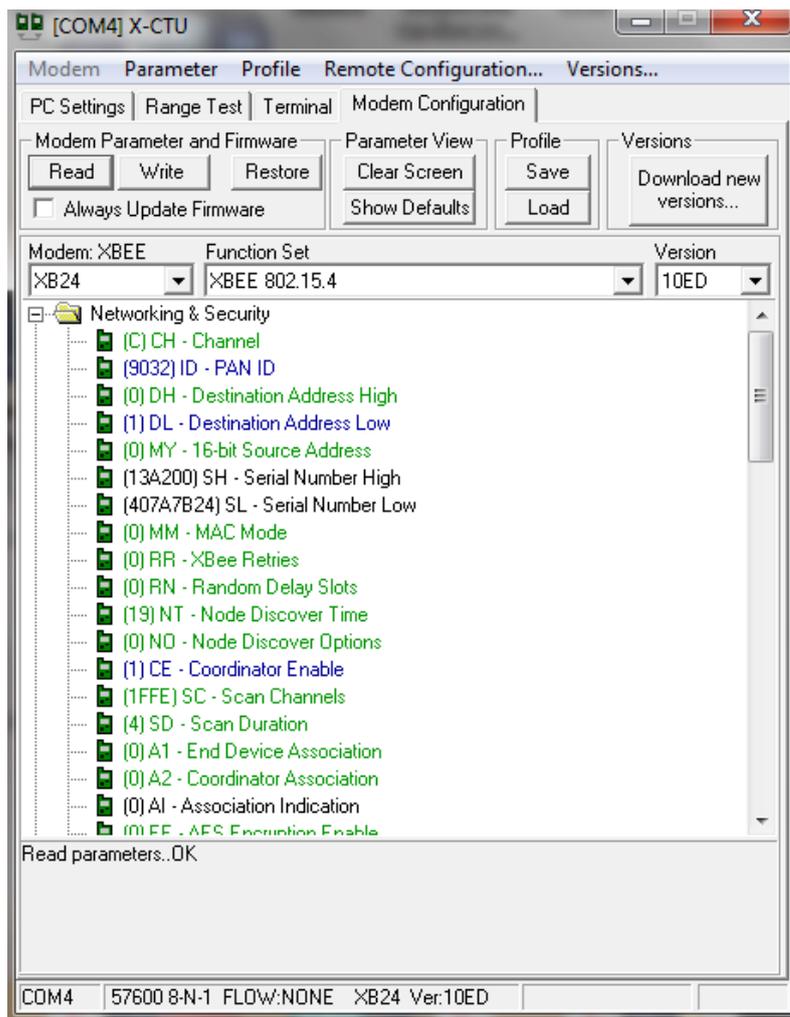
X-CTU

Se instalara XCTU_32BITS 0 XCTU_64BITS

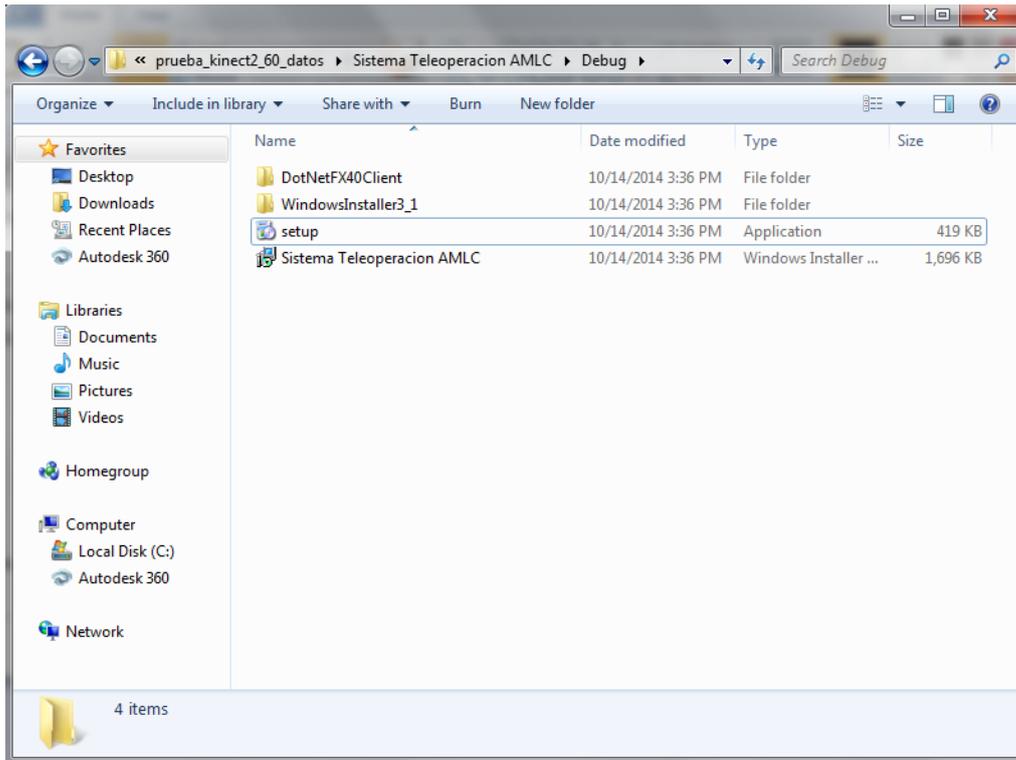
Pantalla de instalación principal



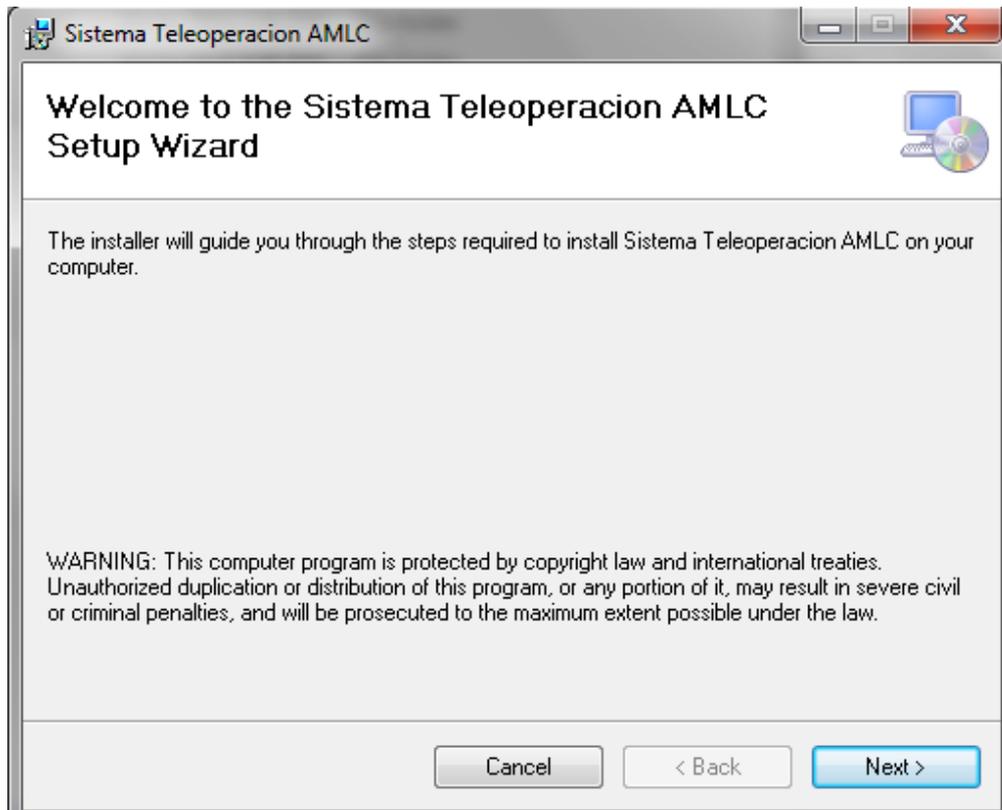
Pantalla principal de configuracion



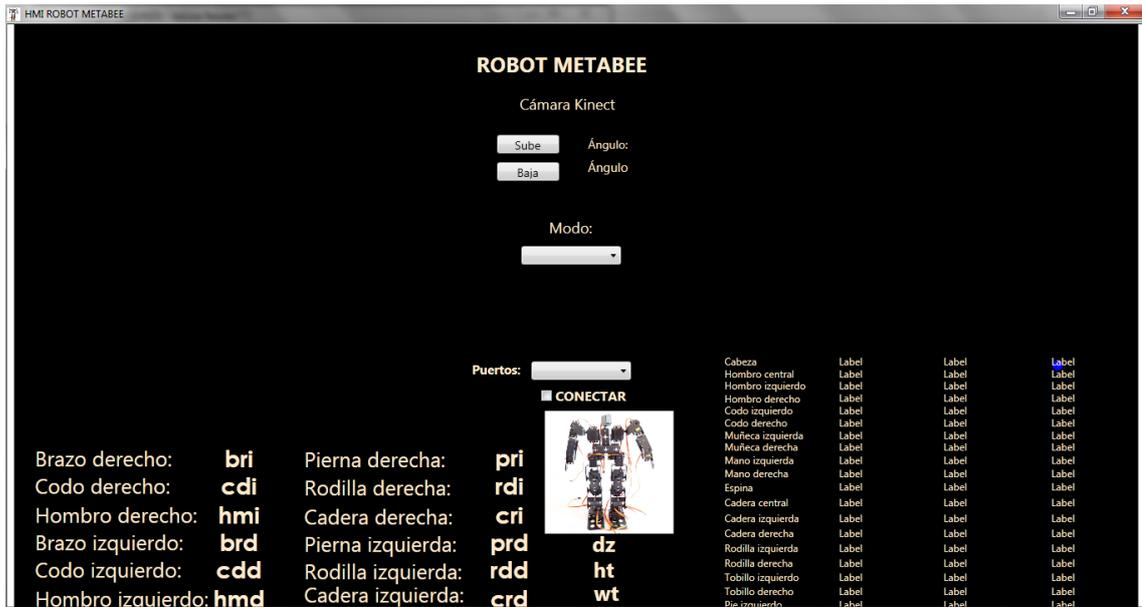
Instalación del Sistema (paquetes de instalación)



Pantallas de instalación



Pantalla principal SISTEMA TELEOPERACION



En la pantalla principal en la parte Inferior derecha se muestra las coordenadas en X,Y, Z de los puntos de referencia, en la parte inferior izquierda se muestra los puntos de las extremosidades principales.

Se evidencia el puerto al cual se conectara el módulo de comunicación inalámbrica para la transmisión de los datos hacia el controlador de servomotores.

ANEXO 2

Mantenimiento del robot



Carga de batería life, se indica voltaje y corriente.

Plataforma robophilo listo para caminar



17dof



Ensamblaje de las partes del robot



BIBLIOGRAFÍA

- [1] **OLLER, A.**, (2001). *Robótica Manipuladores y robots móviles*. Barcelona, España: Marcobo. Pp 422.
- [2] **BERINI, J.**, (2011). *El libro del robot*. Barcelona, España: Gustavo Gili. Pp 191.
- [3] **GOMEZ DE GABRIEL, J.M., OLLERO B., GARCIA C.**, (2012). *Teleoperación y telerobotica*. Madrid, España: Pearson Education. Pp 100-150.
- [4] **VERTUT, J.**, (2010). *Robot technology, teleoperation and robotics*. Londres, Inglaterra: Sin Editorial. Pp 240 -280.
- [5] **SHERIDAN T.B.**, (2011). *Review and Prognosis, Transactions on Robotics and Automation. IEEE, 9.*
- [6] **SAYERS C., PAUL R.**, (2011). *Teleprogramming for Subsea Teleoperation Using Acoustic Communication. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1.*
- [7] **FOGLE R. F.**, (2012). *The use of Teleoperators In Hostile Environment Applications. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1.*
- [8] **FONG T., THORPE C.**,(2010). *Vehicle Teleoperation Interfaces Autonomous Robots. Kluwer Academic,1.*

[9] **BIRK A., KENN H.**, (2012). *RoboGuard a Teleoperated Mobile Security Robot*, *Control Engineering Practice*, 10.

[10] **BUTNER S. E., GHODOUSSI M.**, (2013). *Transforming a Surgical Robot for Human Telesurgery*, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 13.

[11] **AXON II**

<http://www.societyofrobots.com/axon2/>

2014/01/14

[12] **ARDUINO MEGA 2560**

<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

2014/01/14

[13] **ATMEL STUDIO 6**

http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6/

2014/01/20

[14] **CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN E C**

<http://www.basekit.com.mx/basekiteca/caracteristicas-principales-del-lenguaje-de-programacion->

2014/03/10

[15] **KINECT PARA WINDOWS**

<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>

2014/03/03

[16] **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS KINECT**

<http://www.fayerwayer.com/2010/06/especificaciones-tecnicas-de-kinect/>

2014/02/03

[17] **RETO SDK KINECT DESARROLLA CON KINECT**

<http://blogs.msdn.com/b/esmsdn/archive/2011/07/07/sdk-de-kinect-desarrolla-con-kinet>

2014/03/14

[18] **MICROSOFT DEVELOPER NETWORK VISUAL C#**

<http://msdn.microsoft.com/es-es/library/kx37x362.aspx>

2014/02/25

[19] **ZIGBEE ALLIANCE**

<http://www.zigbee.org/>

2014/05/27

[20] **MÓDULOS DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICA**

<http://www.xbee.cl/>

2014/05/27

[21] **PROGRAMMABLE HUMANOID IN LIFELIKE OPERATION**

<http://www.robophilo.com/live/en/index.php>

2014/06/23

[22] **XBEE USB EXPLORER**

<https://www.sparkfun.com/products/11812>

2014/05/27