

# SISTEMA TELEOPERADO APLICADO A LA MANIPULACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS CON RIESGO BIOLÓGICO

Teleoperated system applied to handling biohazard hospital waste

Julio Astete Rupay<sup>1</sup>, Dante Gallo Torres<sup>1</sup>, Alberto Torres Hinostroza<sup>1</sup>, Alex Peña Romero<sup>1</sup>, Marco Sarmiento Cornejo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería Mecatrónica, Universidad Continental  
Correo electrónico: 77660805@continental.edu.pe

**Resumen.** Los residuos sólidos son un problema social y ambiental que está latente. Su clasificación es un método muy práctico para su recolección, manipulación y tratamiento, esto es indispensable para efectuar una correcta gestión y subsanar el problema. Los residuos de tipo biológico son un caso especial porque pueden afectar de diversas formas la salud de quienes los manipulan, originando un gasto mayor a las empresas para garantizar la seguridad y el bienestar de su personal. Este proyecto plantea una solución que ataca directamente al problema del contacto directo y la mala manipulación de dichos residuos que limitan su tratamiento y generan un riesgo al usuario, además da una opción de erradicar los altos gastos que generan.

Se presenta un «Sistema teleoperado para la manipulación de residuos de riesgo biológico», con el cual se puede realizar la labor de manipulación a distancia en tiempo real y precisión durante el proceso. Este proyecto se basa en la tecnología del control teleoperado y se apoya en un brazo robótico para el contacto directo, que posee sensores para la recolección de datos que se transfieren a un ordenador, el cual procesa, ordena y logra la optimización del proceso. Se busca que el operador desempeñe su labor de manera segura y eficaz.

**Palabras clave:** Tecnología de teleoperado; brazo robótico; sensores.

**Abstract.** The solid wastes are a social and environmental problem and its classification is a very practical method for collection, handling and processing, it is essential to have proper management and mend the problem. The biological waste type is a special case because they can affect in various ways the health of those who manipulate the material, which results in higher spending to ensure safety and staff welfare. This project proposes a solution that directly attacks the problem of direct contact and poor handling of such waste that limit its treatment and became a risk to the user, also it gives an option to eradicate the high costs they generate.

Therefore, a «teleoperated system applied to hospital waste handling with biohazard» is presented; This may make the work of handling in real-time and accuracy during the process, this project is based on the technology of teleoperated control and relies on a robotic arm for direct contact, which will possess sensors to collect data to be transferred to a computer to process and short and thereby achieve process optimization. The project aims to enable the operator to carry out their work safely and effectively.

**Keywords:** Teleoperated technology; robotic arm; sensors.

## I. INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos es una problemática general y la ingeniería no es ajena a ella, ya que puede plantear amplias soluciones al respecto, sobre todo en el manejo, tratamiento y/o manipulación de los residuos hospitalarios, actividad que debe realizarse de forma muy cuidadosa.

Según el *Manual de Difusión técnica* (DIGESA), los residuos hospitalarios son aquellos residuos de establecimientos de atención de salud y afines, es decir, residuos resultantes de la práctica médica, enfermería, dental, veterinaria o actividades similares, y residuos generados en hospitales u otras instalaciones durante actividades de investigación o el tratamiento de pacientes o de proyectos de investigación [1]. Por el riesgo que implica el manejo de estos residuos, se planearon sistemas de gestión de residuos hospitalarios [2], [3].

Los robots teleoperados [4] son utilizados para operar en entornos peligrosos y el operador del robot siempre estará en una zona segura, donde no corre ningún riesgo.

Ortiz Pámanes presentó en la Universidad Autónoma de México la tesis «Teleoperación de un manipulador de 5 grados de libertad utilizando Plataforma Virtual». Las funciones de la plataforma consisten en establecer, monitorear y supervisar la comunicación del robot manipulador con otros dispositivos de captura de posición y orientación espacial, como un mecanismo maestro instrumentado, acelerómetro o unidades inerciales. Su objetivo fue:

Teleoperar al manipulador: Alcanzar el movimiento interactivo, coordinado y semiautomático (teleoperado; en tiempo real; en línea) de las articulaciones del robot prototipo (funciones y requerimientos de control supervisado), y monitorear el desempeño [5].

El objetivo del presente trabajo es implementar un sistema teleoperado en tiempo real para la manipulación y el control de residuos y evitar los riesgos para las personas que lo manipulen.

## II. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

### Hipótesis general

El sistema teleoperado manipula eficientemente los residuos hospitalarios con riesgo biológico.

### Hipótesis específica

- El sistema teleoperado identifica y transporta correctamente los residuos con riesgo biológico.

- Los brazos robóticos funcionan simultáneamente con la estructura móvil y la interfaz diseñada.
- El sistema de posicionamiento y estabilidad funciona eficientemente y es controlado por cámaras y sensores.
- La interfaz diseñada aporta eficiencia al sistema.
- Evita el manejo y la manipulación directa de los residuos con riesgo biológico por parte del personal.

## III. MARCO TEÓRICO

El sistema teleoperado está compuesto por:

### 1. Estructura

- 1.1. **Brazo robótico:** Sistema mecánico cuya finalidad es replicar la función de un brazo humano; generalmente, se requiere de un sistema de control para su operación. Este al igual que un brazo humano posee movimientos de traslación, desplazamiento lineal y, en caso de ser articulado, un movimiento rotacional.

El origen de la palabra robot es eslavo, proviene de *robot*, que se refiere al trabajo realizado de manera forzada. El escritor checo Karel Capek (1890-1938) utilizó el término por primera vez en 1921. El brazo robótico se ideó con el objetivo de diseñar una máquina flexible, adaptable al entorno y de fácil manejo; actualmente tiene usos industriales y médicos, en las conocidas cirugías robóticas. Llegan a formar parte de un sistema aún más complejo llamado robot.

- 1.2. **Chasis:** El chasis es la estructura que brinda el soporte y rigidez al vehículo; en el caso de componentes electrónicos, es el mecanismo sobre el cual se montan los componentes electrónicos.

El chasis en la actualidad forma parte de todos los productos automovilísticos y es parte esencial en la construcción de los sistemas móviles.

- 1.3. **Sensores:** Un sensor es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

### 2. Interfaz

Conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de teleoperación, así como con los monitores de video o cualquier otro dispositivo que permita al operador mandar información al sistema y recibir información del mismo.



La interfaz usada se clasifica dentro de las interfaces para control supervisado. En estas interfaces se da toda la información necesaria para que el operador sienta el máximo de telepresencia en el sitio remoto, hacen utilización de dispositivos ópticos con realimentación de fuerza y torque, dispositivos de realidad virtual, como guantes, lentes, trackers, todo lo que pueda servir para que exista el grado máximo de telepresencia.

### 3. Control

Proceso estructurado y de manejo de un sistema, para acreditar su correcto funcionamiento, así como el monitoreo necesario.

La manipulación de residuos con riesgo biológico está compuesta por:

#### 3.1 Tipos de residuos

##### a) Residuos biosanitarios

- 1.1.1. Material en contacto con secreciones y fluidos corporales de los pacientes.
- 1.1.2. Restos de alimentos de pacientes infectados.
- 1.1.3. Dispositivos empleados en administración de nutrición parenteral.
- 1.1.4. Todos los frascos de plástico de medicamentos.
- 1.1.5. Medios de cultivo, previa desactivación.

##### b) Residuos cortopunzantes

Material que podría causar algún tipo de corte o penetración, por ejemplo, agujas sin capuchón, láminas de bisturí, lancetas, máquinas de afeitar, entre otros similares a los mencionados.

##### c) Residuos anatomo-patológicos

Placentas, amputaciones, gasas arteriales, liners, bolsa de sangre residual, drenaje de abscesos. «Partes y fluidos corporales que se remueven durante cirugías y necropsias.

##### d) Residuos fármacos citotóxicos

Restos de medicamentos citotóxicos y/o elementos que han tenido contacto directo con ellos.

##### e) Químicos de mercurio

El mercurio existe en varias formas: elemental (o metálico), inorgánico (al que la gente se puede ver expuesta en ciertos trabajos) y orgánico (como el metil-mercurio que penetra en el cuerpo humano por vía alimentaria).

de ver expuesta en ciertos trabajos) y orgánico (como el metil-mercurio que penetra en el cuerpo humano por vía alimentaria).

### 3.2. Transporte

El transporte del robot se da mediante la adaptación del sistema de los «carros seguidores de línea» para que su ruta de transporte sea eficiente y no haya necesidad de un operador para el control de esta. También es posible adaptar al robot al sistema de «Los robots identificadores de obstáculo», para que tenga una ruta sin problemas. Para ambos casos, si el ambiente tiene escaleras, las ruedas pueden ser del tipo oruga para acreditar con esto un transporte eficiente.

La empresa MICROLOG por primera vez, en el año 2006, creó un carro seguidor de línea negra.

## IV. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

### Ventajas

- Disminuye en forma significativa el riesgo al que se expone el personal que labora en la manipulación de residuos que puedan causar algún tipo de daño a su salud, lo que resulta conveniente porque les brinda una mejor calidad de vida.
- Elimina el riesgo de brote de algún tipo de enfermedad o pandemia, ya que el personal que manipula los desechos de riesgo biológico no estará en contacto directo con ellos.
- Disminuye el estrés y la fatiga del personal, causados por el uso de implementos necesarios (guantes, mascarillas, mamelucos especiales, etc.) para la manipulación de los residuos, lo que resulta en un mejor desempeño y productividad.
- Reduce, en forma significativa, los gastos que ocasionan la manipulación tradicional de los residuos hospitalarios, ya que se produce un cambio en el proceso y la manipulación de los mismos, así como en el uso de los implementos requeridos.
- El proyecto cuenta con una interfaz hombre-máquina de fácil utilización, indispensable para la asimilación del operador.

### Desventajas

- Limitaciones tecnológicas
- Los lugares en los que puede actuar el robot se encuentran limitados por las características físicas y mecánicas del proyecto.

- Mal manejo de los hospitales para la organización de sus desechos hospitalarios.

## V. COMPONENTES DEL SISTEMA TELEOPERADO

### 1. Estructura

- Chasis con llantas
- Actuadores lineales
- Plancha de aluminio
- Base para la batería
- Guantes de brazo completo
- Brazo robótico

### 2. Electrónica

- Acelerómetros MPU 6050
- Arduino Mega 2560
- Sensor de distancia de ultrasonido HC-SR04
- Cámara IP
- Sensor PIR HC-SR501
- Batería de 12v Bsla-1208-Cpb
- Módulo Wi-Fi Esp8266
- Joystick palanca de mando para PC
- Otros
  - Puente h
  - Electroimán
  - Imán de neodimio
  - Reguladores de voltaje de 12v, 9v y 3.3v
  - Juegos de cables utp
  - Memoria flash

### 3. Software

- Software para medir la distancia con sensor ultrasónico
- Software para la recepción de datos de los acelerómetros con giroscopios
- Software para la recepción de datos y control de la cámara Wi-Fi
- Software para el control de los actuadores lineales
- Software para recepción de datos de los pulsadores de la mano
- Software para la recepción de datos del sensor PIR

- Software para recepcionar y mandar información por el módulo Wi-Fi
- Software para recepcionar datos del jhosting
- Software para el control del puente H
- Software para el control del electroimán
- Software para el uso de la memoria flash

**Tabla 1.** Datos técnicos

Cámara	
Calidad de imagen	Óptima Tamaño: VGA
Tiempo de retraso en la transmisión de la imagen	0,7 -1 segundo

Sensores	
PIR HC-SR501	Detección de movimiento de 109° aproximadamente
Ultrasonido HC-SR04	Alcance máximo en vacío de 3 metros

Brazo 6DOF	
Servomotores MG996	Fuerza de 15 kg x cm
Carga máxima en la garra	2,14 kg

Chasis	
Motorreductores de 12V	Tracción 4x4
Carga máxima	5 kg

## VI. GESTIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS

El manejo integral de los residuos hospitalarios debe constituir una de las prioridades del Programa de Gestión de Calidad de cualquier organización sanitaria.

Los residuos sólidos hospitalarios (RSH), particularmente aquellos con características infecciosas u otras peligrosas, representan un riesgo para la salud de los operadores, la comunidad en su conjunto y el ambiente.

En la gestión integral de residuos sólidos hospitalarios (GIRH) juega un papel fundamental el personal asistencial, que es el que básicamente genera los residuos. Por tanto, es clave concienciar al personal asistencial sobre la importancia de la correcta GIRH, tanto desde la gestión económica como de la pre-



vención de riesgos laborales, así como en el impacto medioambiental.

Las principales vías de penetración de contaminantes biológicos en el cuerpo humano son:

**Vía respiratoria:** Por inhalación de las sustancias tóxicas se encuentran en el ambiente difundidas o en suspensión (gases, vapores o aerosoles).

**Vía dérmica:** Por contacto con la piel. En muchas ocasiones no se evidencian erupciones ni alteraciones notables en esta.

**Vía digestiva:** A través de la boca, esófago, estómago y los intestinos, por el hábito de ingerir alimentos, bebidas o fumar en el puesto de trabajo.

**Vía parenteral:** Por contacto con heridas que no han sido protegidas debidamente. Cuando la sustancia tóxica pasa a la sangre, ésta la difunde por todo el organismo con una rapidez que depende de la vía de entrada y de su incorporación a la sangre.

## VII. FACTIBILIDAD DE PROYECTO

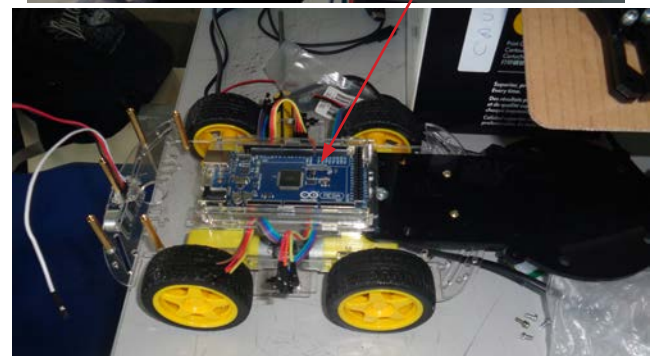
Se puede afirmar que la creación del sistema teleoperado propuesto es factible de realizar, puesto que el proyecto ya tiene sus semejantes como el «Relay», un pequeño robot que responde a pedidos en hoteles de California. La escala que usaremos para desarrollar nuestro prototipo es la adecuada para simular el funcionamiento real de este, ya que trabajarlo como prototipo es más viable que hacerlo en escala real.

Su uso en hospitales no es muy alejado de la realidad, puesto que, como ya lo mencionamos, en algunos hoteles, recepciones, cafés, entre otros, ya se utiliza esta tecnología para el trabajo requerido de cada uno.

Si hablamos de su transporte, pues no es algo muy complejo de asimilar ni de idear, ya que existe el famoso «obstáculo-espacio», el cual nos habla de un sensor para que el sistema pueda distinguir un obstáculo a priori y conseguir un espacio por el cual dirigirse posteriormente, sino también existen otros métodos, como, por ejemplo, el mapeo en el robot para así poder hacer de su transporte algo factible, o usar la teoría de los famosos seguidores de línea, para idear un plan de transporte.

## VIII. RESULTADOS

- El proceso de control se realiza en dos medios: de acción y de control. El medio de acción es el espacio donde opera o realiza sus labores el robot, y el medio de control es el espacio en el cual el operario monitorea las condiciones y el estado del robot. Por ende, cuando hablamos de acción se estará haciendo referencia al robot, y cuando se hable de medio de control nos referiremos a la cabina de monitoreo y control.
- El robot consta de una parte estructural, electrónica y software. La estructura solo brinda el soporte, la estabilidad es parte esencial para la locomoción.



- En cuanto al funcionamiento, este se vale de una serie de sensores, los cuales sirven para tener un desplazamiento en el entorno adecuado y una buena respuesta ante el medio de control. El sensor HC-SR04 provee información de los obstáculos en su trayecto, datos que son utilizados para dos acciones, la primera la del accionamiento de los motores para el cambio de dirección y evadir el obstáculo y la segunda para la identificación y determinación de posibles amenazas y obstáculos inamovibles para el robot. Las medidas que se toman para este caso dependen de la cabina de control.



- La cámara Wi-Fi complementa la función anterior enfocándose en el segundo modo de uso de la información recibida por el sensor HC-SR04; su uso inalámbrico combina la función de monitoreo por video digital, el cual es proyectado al operador en la cabina. El modo de uso se da a través de una red LAN. Su uso depende de un medio de conexión Wi-Fi, para ello se complementa con el módulo Wi-Fi Esp8266, el cual incluye lo que se requiere para acceder a un punto de conexión Wi-Fi, se explota su capacidad de enviar información y de registro de datos.
- El sensor PIR o sensor piroeléctrico infrarrojo es un elemento pasivo con el cual pasamos a una selección específica del obstáculo que se presenta; en este caso, hablamos de un obstáculo humano, el medio de acción requiere de una correcta diferenciación entre un objeto inerte (residuos) y un ser humano, tomamos el calor corporal como punto de diferenciación entre estos dos.

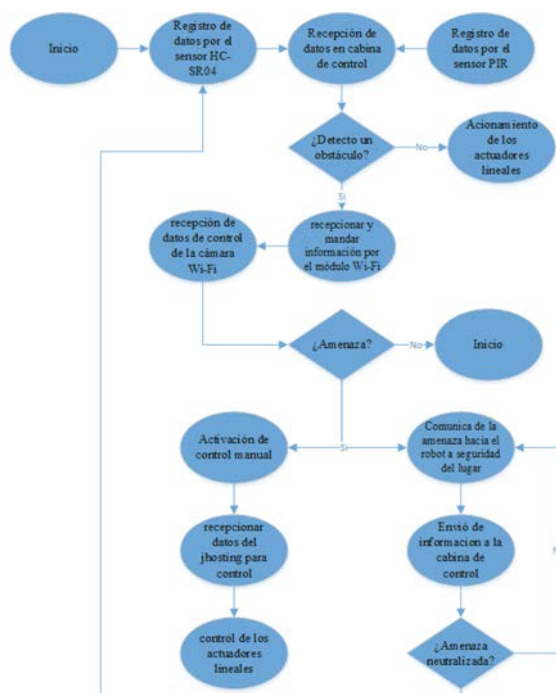


Cámara

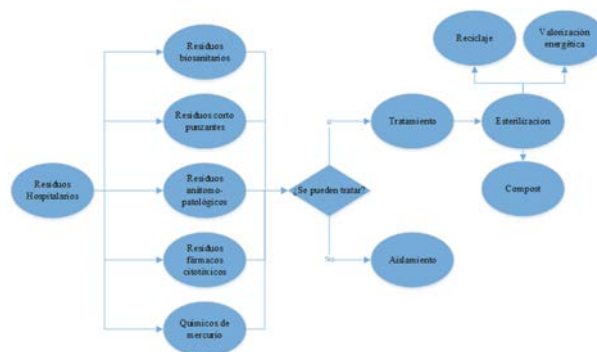
Sensores (PIR y ultrasonido)

- El modo de control requiere de un software, el cual integra las funciones de uso de los sensores mencionados según el proceso (ver Apéndice 1).
- Utilizar un software acompañado de cámaras y sensores para controlar un sistema es lo más apropiado, ya que permite la visualización del sistema en 360° para así evitar fallos en el control, y no estar propenso a diversos errores que por este se puedan producir.

### Apéndice 1



### Apéndice 2



- Es notorio que el sistema teleoperado que proponemos es altamente productivo y de gran ayuda para la prevención y reducción de daños o riesgo para el personal o afines de este.

## IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- La operación del sistema es idónea para lo requerido, pero no da respuesta inmediata ante una amenaza. La respuesta de la cámara IP con la conexión Wi-Fi limita el tiempo de respuesta ya que ésta presenta un retraso de entre 0,7 a 1 segundo en enviar la información.
- Se ha realizado una modificación en cuanto al posicionamiento de los sensores PIR, ya que necesitamos cubrir 360° para el registro de una presencia (ver Apéndice 2).





- La respuesta de los sensores, tanto del HC-SR501 como el HC-SR04, es inmediata y dentro del tiempo requerido para la evasión de obstáculos y libre locomoción en el entorno; la respuesta es transitoria y se hace una selección de prioridad entre los datos que toman ambos sensores, priorizando los del HC-SR04.
- En cuanto al medio de control el «Joystick Palanca de mando para PC» brinda una ergonomía y una facilidad de manejo de robot.
- La batería de 12v Bsla-1208-Cpb cumple bien su función de alimentación y requiere una carga de entre 6 a 7 horas.

## X. CONCLUSIONES

- Se pudo comprobar la eficiencia en la manipulación de los residuos hospitalarios con riesgo biológico por parte del sistema teleoperado propuesto. La interfaz diseñada brinda la eficiencia que se requiere al sistema.
- Los brazos implementados son soportados sin esfuerzo por la estructura, además de poder sostener los recipientes de desechos para su desplazamiento.
- Los brazos robóticos funcionan simultáneamente con la estructura móvil y la interfaz, la respuesta de ambas es idónea para su operación, permitiendo fluidez de respuesta entre operario y sistema.
- El sistema teleoperado es muy eficiente en sus funciones, evita el riesgo y por ende su manipulación directa por parte del personal, ya que desempeña bien su función de transporte de los residuos biológicos.

## XI. RECOMENDACIONES

Para el buen trabajo y rendimiento del proyecto, se recomienda lo siguiente:

- Es fundamental hacer el diseño antes del prototipo en sí.
- Se debe de tomar en cuenta a la población al que está dirigido el proyecto a fin de tener un diseño estructurado y más confiable para su creación,

viendo todas las falencias posibles a las que el proyecto está sujeto.

- En su aplicación es de suma importancia advertir los riesgos posibles de que el robot no cumpla su trabajo, es decir que se vea afectado por factores externos como el agua y algún tipo de ácido que sea no muy beneficioso.
- Es necesario hacer un listado de softwares, así como tipos de controladores para el sistema, con el objetivo de contrastar las variaciones de estos.

## XII. AGRADECIMIENTOS

A la E.A.P. de Ingeniería Mecatrónica, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental, por el apoyo económico brindado para el desarrollo de este proyecto.

A los docentes Peña Romero, Alex Rodolfo y Sarmiento Cornejo, Marco Antonio por guiarnos con sus conocimientos.

## XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DIGESA. *Gestión de los Residuos Peligrosos en el Perú*. Manual de Difusión Técnica N° 01. [En línea] Noviembre de 2006. <http://www.digesa.sld.pe/publicaciones/descargas/MANUAL%20TECNICO%20RESIDUOS.pdf>.
- [2] CENAQUE. *Gestión Integral De Residuos Hospitalarios*. [En línea] Noviembre de 2010. [http://www.cenaque.org.uy/documentos/gest\\_residuos.pdf](http://www.cenaque.org.uy/documentos/gest_residuos.pdf).
- [3] MARMOLEJO, L.F., C.A. MADERA, P. TORRES. Gestión de los residuos sólidos en hospitales locales del norte del valle del Cauca, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 2010, 28 (1).
- [4] NUÑO, E. y L. BASAÑEZ. *Teleoperación: técnicas, aplicaciones, entorno*. [En línea] 28 de abril de 2004. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/570/IOC-DT-P-2004-05.pdf?sequence=1>
- [5] PÁMANES, O., D. ALBERTO. *Teleoperación de un Manipulador de 5 grados de libertad*. [En línea] Agosto de 2014. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4381/Tesis.pdf?sequence=1>.

