

ISSN 2523-6881

Volumen 1, Número 3 — Octubre — Diciembre - 2017

Revista de Energías Renovables

ECORFAN[®]



ECORFAN-Republic of Peru

Indización

- RESEARCH GATE
- GOOGLE SCHOLAR
- HISPANA
- MENDELEY

ECORFAN-Perú

Directorio Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

Director Regional

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD.

Director de la Revista

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC.

Edición Tipográfica

TREJO-RAMOS, Iván. BsC.

Edición de Logística

SERRUDO-GONZALEZ, Javier. BsC.

Revista de Energías Renovables, Volumen 1, Número 3, de Octubre a Diciembre 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No.- Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode:11500. WEB: www.ecorfan.org/republicofperu, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. ISSN 2523-6881. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

Consejo Editorial

BELTRÁN-MIRANDA, Claudia. PhD
Universidad Industrial de Santander, Colombia

BELTRÁN-MORALES, Luis Felipe. PhD
Universidad de Concepción, Chile

RUIZ-AGUILAR, Graciela. PhD
University of Iowa, U.S.

SOLIS-SOTO, María. PhD
Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, Bolivia

GOMEZ-MONGE, Rodrigo. PhD
Universidad de Santiago de Compostela, España

ORDÓÑEZ-GUTIÉRREZ, Sergio. PhD
Université Paris Diderot-Paris, Francia

ARAUJO-BURGOS, Tania. PhD
Universita Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

SORIA-FREIRE, Vladimir. PhD
Universidad de Guayaquil, Ecuador

Consejo Arbitral

VGPA. MsC

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

EAO. MsC

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

MMD. PhD

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

BRIIIG. PhD

Bannerstone Capital Management, U.S.

EAO. MsC

Bannerstone Capital Management, U.S.

OAF. PhD

Universidad Panamericana, México

CAF. PhD

Universidad Panamericana, México

RBJC. MsC

Universidad Panamericana, México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Energías Renovables

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión de la Editora en Jefe.

Como primer artículo está *Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes* por MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDAÑO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán, como siguiente artículo está *Prototipo de control administrativo del proceso de producción en invernaderos* por HERNÁNDEZ-TAPIA, Zaila, REYNA-ÁNGELES, Omar, SOTO-FERNÁNDEZ, Susana Leticia y ACOSTA-ACOSTA, Araceli con adscripción en la Universidad Politécnica De Francisco I. Madero, como siguiente artículo está *Diseño e implementación de un dispositivo electrónico registrador de estados de anemia* por SÁNCHEZ-MEDEL, Luis Humberto, GALICIA-GALICIA, Laura Adriana, MOLINA-GARCÍA, Moisés y GARCÍA-AMECA, Lauro Alfredo con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, como siguiente artículo está *Análisis y simulación de cargas de viento en un concentrador solar de canal parabólico mediante la aplicación de software* por AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge, GARCÍA-DOMÍNGUEZ, Jairo, RAMÍREZ-ROJO, Alexis y DE JESÚS-VEGA, César Omar con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, como siguiente artículo está *Simplificación de modelo de secador de carne de res* por ROMERO-PÉREZ, Claudia, MARTÍN-DOMÍNGUEZ, Ignacio y VENEGAS-REYES, Eduardo con adscripción en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, como siguiente artículo está *Plataforma para el control visual de un sistema con dos rotores en configuración coaxial* por LORETO-GÓMEZ, Gerardo, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, MORALES-MORFÍN, Marcela y MEDINA-MEZA, Erick Benjamin con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Uruapan y la Universidad Politécnica de Uruapan.

Contenido

Artículo	Página
Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDAÑO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán	1-16
Prototipo de control administrativo del proceso de producción en invernaderos HERNÁNDEZ-TAPIA, Zaila, REYNA-ÁNGELES, Omar, SOTO-FERNÁNDEZ, Susana Leticia y ACOSTA-ACOSTA, Araceli	17-21
Diseño e implementación de un dispositivo electrónico registrador de estados de anemia SÁNCHEZ-MEDEL, Luis Humberto, GALICIA-GALICIA, Laura Adriana, MOLINA-GARCÍA, Moisés y GARCÍA-AMECA, Lauro Alfredo	22-33
Análisis y simulación de cargas de viento en un concentrador solar de canal parabólico mediante la aplicación de software AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge, GARCÍA-DOMÍNGUEZ, Jairo, RAMÍREZ-ROJO, Alexis y DE JESÚS-VEGA, César Omar	34-42
Simplificación de modelo de secador de carne de res ROMERO-PÉREZ, Claudia, MARTÍN-DOMÍNGUEZ, Ignacio y VENEGAS-REYES, Eduardo	43-50
Plataforma para el control visual de un sistema con dos rotores en configuración coaxial LORETO-GÓMEZ, Gerardo, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, MORALES-MORFÍN, Marcela y MEDINA-MEZA, Erick Benjamin	51-58

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes

MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo†*, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDAÑO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán

Recibido 3 de Octubre, 2017; Aceptado 8 de Diciembre, 2017

Resumen

Un robot que interactúa con un ser humano requiere adaptarse a las necesidades del usuario para proveer la correcta asistencia en un ambiente de control compartido. La asistencia en una actividad con un ser humano en el ciclo es multifacética y dependiente de diversos factores incluyendo la tarea en mano, la experiencia del usuario, el ambiente y las capacidades de asistencia. La robótica de rehabilitación combina los campos de la robótica industrial y la rehabilitación médica a través de algoritmos, elementos mecánicos, circuitos eléctricos y electrónicos que han permitido dar origen a las sillas de ruedas inteligentes (IWS) para aquellos usuarios que no pueden operar una silla de ruedas eléctrica (EPW) por métodos de entrada habituales como el joystick, llevando el concepto de diseño universal a las tecnologías de asistencia. Este artículo propone la determinación de la distancia de contacto mínima y velocidad en base a un sistema difuso tomando en cuenta la experiencia de operación del usuario. El control del robot móvil, es mediante la inclinación de la cabeza del usuario y permite identificar 5 tipos de instrucciones diferentes por un Smartphone para aquellos usuarios que no puedan optar por un control tradicional.

Interacción hombre robot, control difuso, silla de ruedas inteligente

Abstract

A robot that interacts with a human being needs to adapt to the needs of the user to provide the correct assistance in a shared control environment. The attendance in an activity with a human being in the cycle is multifaceted and dependent on various factors including the task at hand, user experience, environment and attendance capacities. Rehabilitation robotics combines the fields of industrial robotics and medical rehabilitation through algorithms, mechanical elements, electrical and electronic circuits that have led to intelligent wheelchairs (IWS) for users who can not operate a chair (EPW) by standard input methods such as the joystick, bringing the concept of universal design to assistive technologies. This article proposes the determination of the minimum contact distance and speed based on a diffuse system taking into account the experience of operation of the user. The control of the mobile robot, is by tilting the user's head and allows to identify 5 different types of instructions by a Smartphone for those users who can not opt for a traditional control.

Human robot interaction, fuzzy control, smart wheelchair

Citación: MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDAÑO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán. Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes. Revista de Energías Renovables 2017. 1-3:1-16

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: cesar.melchor@itshuatusco.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Proveer la correcta asistencia en un ambiente de control compartido es una tarea compleja, por su naturaleza, la asistencia es multifacética y dependiente de diversos factores incluyendo la tarea en mano, el estado del usuario, el ambiente y las capacidades de asistencia [1]. El aprendizaje de asistencia por demostración (LAD). Una silla de ruedas inteligente debe de enfrentar la difícil decisión no solo de asistir a un paciente, sino cuando y como interferir, ya sea para realizar tareas de bajo control mientras que el usuario es primariamente responsable de decisiones en los niveles más altos [2].

Actualmente los diversos objetos y sistemas que nos rodean están diseñados para que la mayoría de los usuarios puedan utilizarlos con facilidad, sin embargo esto no siempre ha sido así, fue en 1985 cuando Ron Mace, fundador de la ideología del diseño Universal [3] y la Universidad de North Carolina en 1997 [4] orientaron el diseño y construcción de un producto para que todas las personas puedan hacer uso del mismo.

El diseño Universal es el diseño de productos y ambientes que son usables para todas las personas, en la extensión más amplia posible, sin la necesidad de adaptación, [5]. El UD se basa en 7 principios propuestos por la universidad de North Carolina [6] y [7], los cuales son:

Principio 1: Uso equitativo

Principio 2: Flexibilidad de uso

Principio 3: Simple e intuitivo

Principio 4: Información perceptible

Principio 5: Tolerancia al error

Principio 6: Bajo esfuerzo físico

Principio 7: tamaño y espacio para aproximación del uso

Los conceptos: “forma”, “característica”, “atributo” e “interface al usuario” e inclusive el término “todos los usuarios” juegan un papel importante en la descripción de un objeto a través del UD. [8]. La forma física es el diseño de la apariencia física de un objeto, tanto en tamaño como en proporción o estructura. Una Característica es cualquier elemento distinguible en un diseño en cualquier escala de diseño, son categorizados mas no todos pueden ser medidos solo descritos. Un atributo es una característica cuantificable como la altura, ancho, color, textura y condición que define la proporción, apariencia y otras cualidades. La interface al usuario. - incluyen una variedad de control y hardware, los cuales pueden ser configurables u operativos.

El concepto “todos los usuarios” empleado en el UD, hace referencia a que un objeto debe de tener la capacidad de emplearse por cualquier persona, considerando sus capacidades e incapacidades y la población a la que pertenece. La capacidad de una persona es la calidad en la realización de alguna función distinguiéndose por tipo y magnitud; la incapacidad se describe en términos mentales o físicos en donde el usuario tiene impedimento para realizar actividades cotidianas sin embargo la dis-capacidad no está asociada con el mismo tipo o nivel de incapacidad [8]. Las habilidades de una persona se clasifican de acuerdo a [9] en motoras, mentales, de sensación y percepción y comunicación.

De acuerdo al censo Nacional de Población 2010, en México habitan 112'336,538 de personas [10].

Los ejercicios censales que han incluido datos sobre el número total de discapacitados desde 1900 se muestran en la Tabla 1; se observa que en el anterior ejercicio censal 2000 se obtuvo un 1.8% de población con discapacidad y creció a 5.1% en el ejercicio censal 2010, por lo que el número total de personas con discapacidad va en aumento.

Fuente	Año	Concepto medio	Porcentaje
Censo	1900	Defectos físicos y mentales	0.20
Censo	1910	Defectos físicos y mentales	0.21
Censo	1921	Defectos físicos y mentales	0.65
Censo	1930	Defectos físicos y mentales	0.66
Censo	1940	Defectos físicos y mentales	0.54
Censo	1980	Ausentismo escolar por invalidez	2.80
Encuesta nacional de Inválidos	1982	Invalidez	0.03
Conteo de población	1995	Discapacidad	2.33
Registro nacional de menores	1995	Discapacidad	6.35
Censo	2000	Discapacidad/limitación	1.84
Encuesta nacional de salud	2000	Discapacidad	2.30
Encuesta nacional de evaluación del desempeño	2002	Discapacidad/dificultad	9.00
Encuesta Nacional de salud y nutrición	2006	Discapacidad/dificultad	9.00
Censo	2010	Discapacidad/dificultad	5.10
Encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares	2010	Discapacidad/dificultad	5.10

Tabla 1 Evolución de las estadísticas en México y porcentaje de población con discapacidad

Fuente: *Elaboración propia*

Actualmente se considera personas con discapacidad de acuerdo al INEGI a aquellas que cumplan las siguientes características:

Población con dificultad para caminar, moverse, subir o bajar

Población con dificultad para ver

Población para oír o escuchar

Población con dificultad para hablar, comunicarse o conversar

Población con dificultad para atender su cuidado personal

Población con dificultad para poner atención o aprender cosas sencillas

Población con limitación cerebral

Entender la habilidad y discapacidad de una persona es crítico para apreciar el impacto que tiene una forma en funcionamiento, empezando con la naturaleza de la incapacidad del diseño rutinario permitiendo a la naturaleza de los diseños especializados y universales. La tecnología de asistencia es esencialmente tecnología que sirve para apoyar a las personas con discapacidad [11] y son una expresión genérica que abarca los sistemas y los servicios relacionados a la entrega de productos y servicios de apoyo [12]. La tecnología de asistencia (AT) e ingeniería de rehabilitación de dispositivos para personas con discapacidad tienen 3 tipos de aproximaciones: el diseño hecho para la población más grande, diseño para sub-poblaciones y el diseño para individuos en específico [3].

Este artículo se cuenta con las secciones de estado del arte, en el que se profundiza los diversos proyectos relacionados con el hardware, algoritmo de control de las IWs con enfoques en sistemas multimodales, comerciales, interacción hombre robot y cómputo móvil. El principal problema a resolver es la determinación de la distancia de impacto mínima y la velocidad acorde a la experiencia del usuario, pues en situaciones de riesgo o para acercarse a un objeto (una mesa por ejemplo) la selección de un umbral que separe aquel camino que pueda recorrer y cual no, es fija en los proyectos relacionados en el estado del arte, por lo que la interacción hombre robot se puede beneficiar con un umbral variable dependiente de la experiencia del usuario, el algoritmo empleado se implementó en un robot móvil.

Estado del arte

La interacción hombre robot hace referencia a como un robot puede interactuar no solo con su usuario sino además con el medio ambiente de trabajo y otros usuarios, es decir: parcialmente observable, determinístico, episódico y dinámico.

Sillas de ruedas multimodales

La mayoría de los proyectos con IWs no incluyen alguna referencia de la adaptación del usuario a la silla de ruedas o como mejorar la interface basada en la interacción del usuario con la IWs, sacrificando así el confort y la usabilidad regular de la silla de ruedas en orden de resolver problemas relacionados con la robótica. Las IWs que son controladas por otras formas de control adicionales al joystick son conocidas como sillas de ruedas multimodales MMIWs, los controles pueden ser: movimiento de los ojos, cejas, rostro, cabeza, manos, dedos, lengua o por voz.

El proyecto IntellWheels propone un diseño centrado en el usuario mediante un control multimodal inteligente/adaptativo que ayude a mejorar la movilidad del usuario [13] y [14]. El desarrollo de IntellWheels propone el diseño centrado al usuario en donde el confort, la seguridad y área de trabajo son las principales prioridades, sin comprometer costo o un hardware rígido inadaptable a otras sillas de ruedas. La interface multimodal al usuario es mediante un joystick, teclado, pantalla táctil, gestos faciales, expresiones faciales, voz y CBI comercial. La interface multimodal (MMI) permite que el usuario defina sus comandos de entrada, a través de entradas homogéneas (un solo tipo de dispositivo de entrada) o heterogéneas (diferentes dispositivos de entrada).

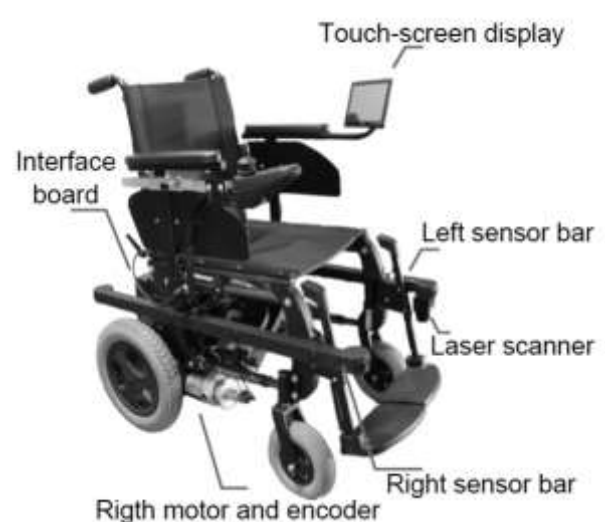


Figura 1 Componentes del proyecto IntellWheels

Fuente: Sites.google Intellwheels

El control multinivel esta dividió en 3 capas: estratégica (planeación de metas, planeación de camino empleando A*), táctica (control de acciones básicas y velocidad angular) y control básico.

Los sensores empleados son láser y ultrasónicos ubicados en áreas en donde el usuario no haga uso de ellas e interconectados mediante una tarjeta controladora Arduino y un controlador de motor como se muestra en la Figura 1, el dispositivo que realiza el procesamiento de datos es una computadora.

El enfoque del proyecto es el acercamiento de una IWs al público e investigadores, por lo que las pruebas realizadas son cualitativas en base a cuestionarios contestados por investigadores de diversos niveles y su comparación con otras IWs.

Comando	Acciones	Comando	Acciones
“One”	Enciende el sistema	“Right”	Gira a la derecha
“Forward”	Mueve la IWs adelante	“Down”	Frena los motores
“Backward”	Mueve la IWs atrás	“Up”	Apaga los motores
“Left”	Gira a la izquierda		

Tabla 2 Comandos de voz de la ITO-IWs

Fuente: 2014 11th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control

Una IWs es desarrollada en el Tecnológico de Orizaba [15] y [16]. Consiste en el control de una silla de ruedas a través de una interfaz multimodal, siendo las interfaces comandos por voz como se muestra en la Tabla 2, lengua, joystick y botones.

El sistema emplea 26 sensores ultrasónicos HC-SR04 ubicados como muestra la Figura 2. Los sensores y los sistemas multimodales de entrada homogénea (voz, joystick, botón) son interconectados con un Arduino Mega ADK, el cual sirve como tarjeta de adquisición y control embebida.

Un aspecto importante es que el sistema multimodal fue probado en usuarios con lesión de médula completa e incompleta en 5 tipos A a E empleando un simulador, obteniendo medición en colisiones promedio por vuelta, tiempo en completar la prueba, velocidad y método de control.

El proyecto IATSL-IWs del Instituto de Rehabilitación de Toronto se enfoca al control de una silla de ruedas en adultos con dificultades cognitivas [17], [18] y [19]. El sistema emplea una EPW modificada para poder ser controlada por el joystick háptico como lo muestra la Figura 3. Adicionalmente el sistema da una retroalimentación al usuario de forma auditiva. La IWs es probada en ambientes reales, basados en la asistencia para conducir sistemas eléctricos de potencia en interiores (PIDA) [20].

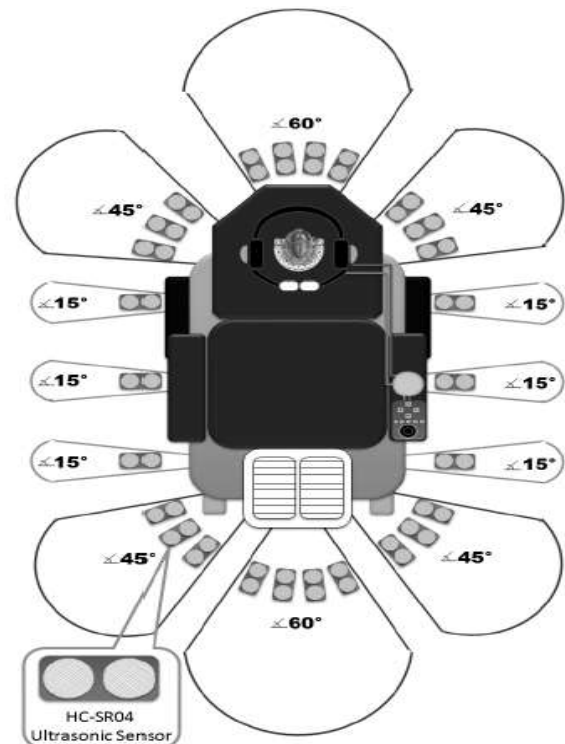


Figura 2 Localización de los sensores ultrasónicos de la IWs

Fuente: 2014 11th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control, 2014

MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDANO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán. Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes. Revista de Energías Renovables 2017

El sistema tiene 3 tipos de modos de operación; el modo básico se activa de forma automática cuando la silla esta aproximadamente a 0.3 metros de un objeto y se ha detenido previamente avisando al usuario del posible impacto mediante retroalimentación auditiva y háptica en el joystick, la velocidad máxima es controlada así como la distancia mínima permisible por la silla de ruedas. El modo de corrección de volante, si la silla se halla a menos de 0.3 metros y el usuario no se ha detenido, entonces automáticamente girara sin bajar la velocidad o frenar; en el modo automático, la silla realiza la tarea de manejo de forma automática y solo se detiene mediante el joystick.



Figura 3 Interface Háptica

Fuente: Journal of Rehabilitation Research and development, 2011

El proyecto IATSL-IWs también toma en consideración las preferencias del usuario al momento de elegir el modo de control, destacando que en ciertos ambientes de trabajo el usuario desearía estar al control (pasillos principalmente), mientras que en otros ambientes (elevadores o puertas) el usuario prefiere un sistema de apoyo, por lo que es necesario un sistema dinámico de selección.

Ha existido una baja tendencia a crear IWs comerciales debido a que existe una abertura entre los académicos investigadores, fabricantes y usuarios [21], razón por la cual han surgido proyectos que buscan ser un puente entre estos 3 sectores como [22], [23] y [24].

Sillas de ruedas inteligentes con enfoque comercial

El proyecto SYSIASS tiene el objetivo de reducir la barrera técnica para realizar investigación sobre la detección de obstáculos mientras que al mismo tiempo busca mantener una ruta simple para la comercialización [23]. Esta IWs hace uso de nodos de sensores de presencia infrarroja y ultrasónica controlador por un Arduino Nano, los cuales se comunican entre sí mediante un protocolo RS-485 como lo muestra la Figura 4. El uso de un protocolo de comunicación permite aumentar el número de nodos sensores, sin embargo la frecuencia de actualización de cada sensor es de 80 ms, esto debido a la naturaleza del uso del protocolo, control secuencial y el tiempo de adquisición de cada sensor.

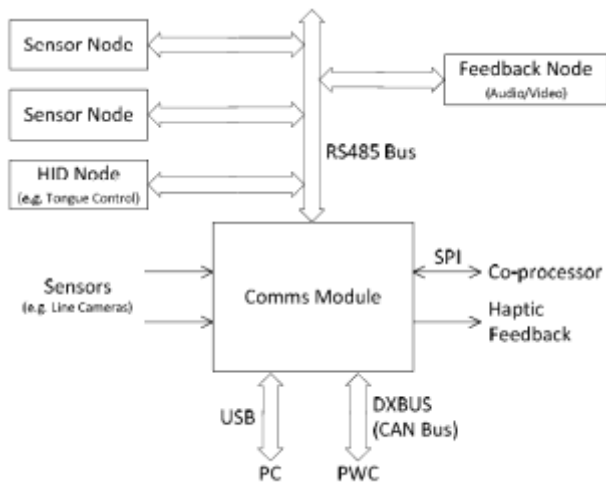


Figura 4 Topología del proyecto SYSIASS

Fuente: IEEE Xplore digital Library, 2014

El control de la IWs es de tipo joystick como lo muestra la Figura 5, sin embargo es posible implementar entradas multimodales modificando el programa de control y aumentando un nodo, sin embargo este sistema no es adaptable a varios modelos de sillas de ruedas solo a aquellas que cuenten con el controlador Dynamic Controls, su sistema de control principal es mediante una computadora.

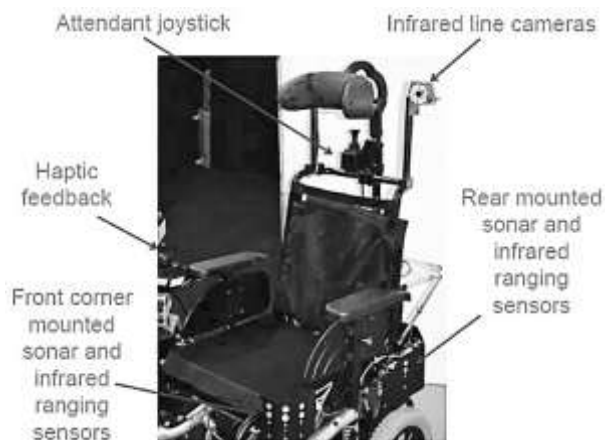


Figura 5 Entradas/ salidas y límites de detección del proyecto SYSIASS

Fuente: IEEE Xplore digital Library, 2014

Sillas de ruedas con interacción hombre robot

El proyecto LIASD-Wheelchair por Laboratoire d'Informatique Avancée de Saint-Denis en la Universidad de París, propone un método de interacción háptico empleando retroalimentación por fuerza en el joystick empleando una red de sensores LIDAR como se muestra en la Figura 6, [25], también tiene su precedentes en control joystick háptico en [26].

Tiene un control embebido estructurado en 3 niveles: control básico (control de posición, control de velocidad), táctico (seguir trayectoria, generador de referencia, búsqueda de objetivos) y estratégico (administrador de servicios). El proyecto utiliza el concepto de impedancia virtual a través de un modelo, el cual asegura una transición suave de velocidad para el seguimiento de trayectorias, con lo cual realiza una interacción usuario-robot.



Figura 6 Prototipo LIASD

Fuente: Software engineering, 2012

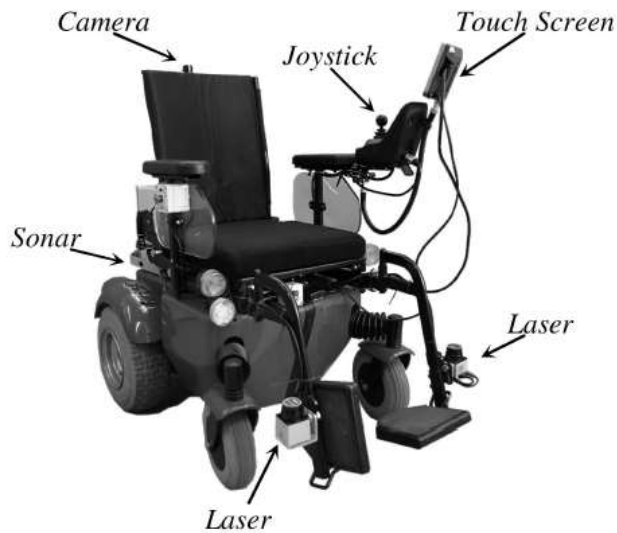


Figura 7 Proyecto LURCH

Fuente: Proceedings of Intelligent Robots and Systems, 2012

El proyecto LURCH del laboratorio de Inteligencia artificial y robótica en el departamento de electrónica, informática y bioingeniería del Politécnico de Milano [27] y [28], propone un control multimodal a través de un joystick clásico, pantalla táctil, interface miográfica e interface cerebro computadora en orden de crear un sistema semiautónomo para rango amplio de usuarios con discapacidad motora como se muestra en la Figura 7. El usuario tiene la oportunidad de escoger entre 3 niveles de autonomía que abarcan desde evasión de obstáculos hasta autonomía completa.

Los sensores, electrónica y un equipo de cómputo son agregados a una EPW comercial; el sistema de control inteligente cuenta con una interface que simula la señal del joystick original. El diseño de la silla contiene 3 módulos:

Localización: emplea un sistema de visión por computadora apuntando hacia techo de una casa y marcadores pasivos para que la IWs pueda determinar en qué habitación se encuentra, como se muestra en la Figura 8.

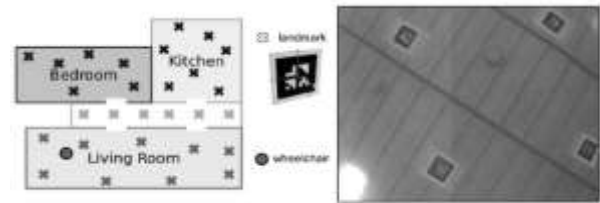


Figura 8 Marcadores Pasivos

Fuente: Proceedings of Intelligent Robots and Systems, 2012

Planeación: emplea un algoritmo A* modificado para la aplicación en espacios de 2D.

Control. Emplea 2 juegos de reglas difusas de orientación y detección de obstáculos, las cuales son habilitadas solo cuando navegación autónoma es requerida por el usuario. El proyecto LURCH aún está activo y sugiere considerar el uso del ISO 13482 para la interacción hombre robot.

Sillas de ruedas con interface cerebro computadora

Las interfaces cerebro computadora permite que usuarios con discapacidad motriz a nivel de cuello o cuadriplegia puedan operar una silla de ruedas [33]. La interface es realizada mediante una diadema comercial EPOC+ Emotiv Xavier. Las señales proporcionadas son ondas Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma, a través de ellas es posible determinar los niveles de relajación, concentración de los usuarios en orden de realizar las operaciones de control de dirección.

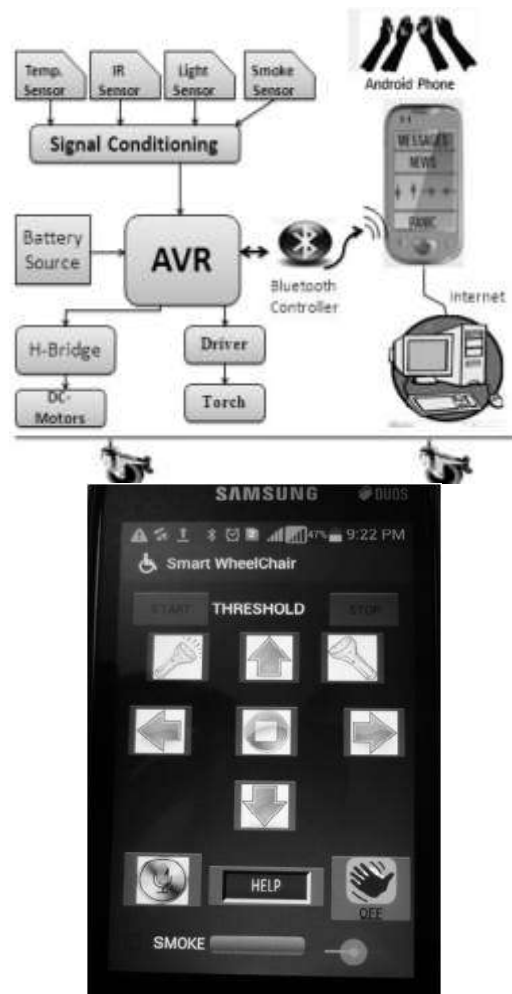


Figura 9 Diagrama a bloques e interface del proyecto Pune-IWs

Fuente: International Conference on Pervasive Computing, 2015

Sillas de ruedas inteligentes con interface en cómputo móvil

La adición de dispositivos móviles y las IWs hacen posible tomar ventaja de SMS, E-mail, pantallas táctiles, VR y sensores del celular para interactuar con el usuario.

El proyecto PUNE-IWs del colegio de ingeniería e investigación de Dnyanganga en India consiste una silla de ruedas inteligente con sensores de obstáculos, temperatura, gas y vinculación con un teléfono inteligente a través de Bluetooth para lograr un poco de movimiento independiente [29].

La Figura 9, muestra los sensores que emplea el proyecto para detectar obstáculos, en adición emplea sensores de temperatura, gas y un botón de emergencia. La App de control es diseñada para el SO Android, el diseño de la interfaz permite el uso de reconocimiento de voz, pantalla táctil y el uso de acelerómetro.

Diseño de la interfaz de control

Las IWs citadas comparten el uso de sensores para poder determinar la presencia de un obstáculo a través de una diversa gama de sensores, desde ultrasónicos, láser y cámaras con visión por computadora que son microcontrolados, es a través de la experiencia del usuario en que este se adapta al sistema en cuanto a la velocidad máxima que puede alcanzar o distancia mínima antes de chocar con un obstáculo, pero si los rangos de detección o velocidad no se adaptan también al usuario conforme a su experiencia, esto supondrá una barrera en su interacción con el robot. Otra característica que comparten son las directivas de control limitadas independientemente de la multimodalidad de la IWs, por lo que para dar mayor autonomía se apoyan en algoritmos propios de visión por computadora, localización simultánea, mapeo y búsqueda, sin embargo una reconfiguración manual por parte del usuario de algún parámetro resulta difícil de implementar pues los sistemas se ocupan del control de dirección o destino de la IWs, por ello el sistema se debe de adaptar al usuario.

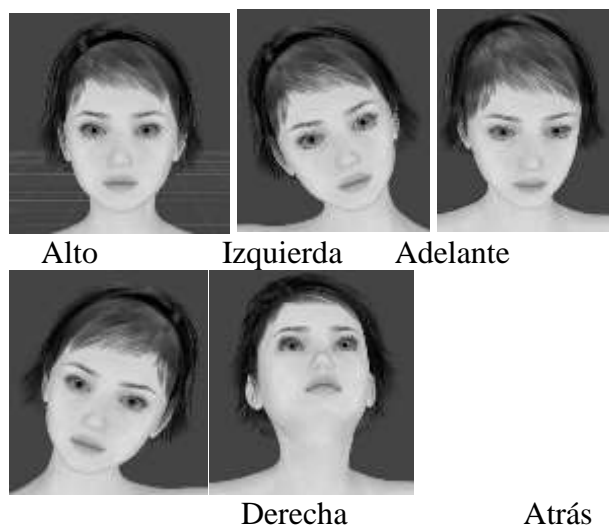


Figura 10 Inclinación de rostro como método de control del robot

Fuente: Elaboración propia

Determinación de la resolución mínima necesaria para el control de dirección

Los movimientos que realizar el robot son 5: alto, adelante, atrás, izquierda y derecha. La entrada de información por parte del usuario es una ligera inclinación de la cabeza inclinación de la cabeza como muestra la Figura 10. El proceso de detección devuelve una respuesta a 5 bits para identificar la entrada por parte del usuario, de esta forma el sistema es combinatorial. Si se requiere ejecutar más movimientos o tener otras opciones para el control del robot, entonces el sistema sería secuencial debido a que no se pueden hacer combinaciones entre las entradas del usuario todas a la vez.

Determinación del ángulo de inclinación

La dirección y velocidad propuesta por una silla EPW es proporcional a la inclinación del joystick, sin embargo para una persona con deficiencia de movimiento en sus extremidades no es posible emplear este método de entrada.

La inclinación del rostro para el control del robot permite usar la cabeza como un joystick, el dispositivo sensor un acelerómetro de 3 ejes de un teléfono inteligente debido a que es un hardware común entre usuarios con EPW.

La colocación del dispositivo móvil juega un papel importante en la detección, por lo que se adecuó una base que lo sitúa al costado izquierdo del usuario junto a la oreja, la relación de ángulo de inclinación y movimiento se muestra en la Tabla 3.

Eje x	Eje y	Eje z	Acción
$-5 < x < 5$	DC	$-5 < x < 5$	Alto
$-5 < x < 5$	DC	$-10 < x < -5$	Izquierda
$-5 < x < -15$	DC	$-5 < x < 5$	Adelante
$-5 < x < 5$	DC	$5 < x < 10$	Derecha
$5 < x < 15$	DC	$-5 < x < 5$	Atrás

Tabla 3 Relación inclinación y acción del robot

Fuente: Elaboración propia

Sistema difuso para el control de velocidad en base a la experiencia del usuario

La determinación de la velocidad propuesta es calculada mediante un sistema difuso [30] cuyas variables de estado son la experiencia del usuario y la distancia a un obstáculo, de esta forma si el usuario tiene poca experiencia podrá moverse con menor velocidad, mientras que si tiene una mayor experiencia le permitirá moverse con mayor velocidad. Las variables de estado tienen 5 etiquetas lingüísticas: muy lejano (ML), lejano (L), normal (N), cerca (C) y muy cerca (MC), la Gráfica 1 muestra la relación de las etiquetas lingüísticas y la distancia en decímetros con respecto a un obstáculo detectado por el sensor ultrasónico.

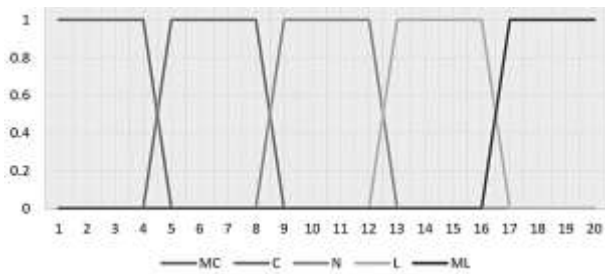


Gráfico 1 Variable de estado distancia de choque en decímetros

Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 2 muestra la relación de las etiquetas lingüísticas y la experiencia del usuario, la cual es valorada de 0 a 100% y es obtenida a través de un cuestionario con información relativa al control de las EPW y libertad de movimiento del cuello. Las variables a controlar son la distancia mínima de choque y la velocidad máxima, debido a que un usuario inexperto al acercarse a un objeto debe de mantener su distancia para no chocar, mientras que un usuario experimentado debe tener la facultad de poder acercarse aún más pues ha aprendido a interactuar con el hardware.

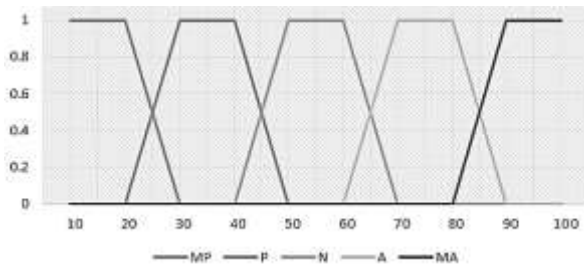


Gráfico 2 Variable de estado experiencia del usuario

Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 3 muestra la relación de las etiquetas lingüísticas con la velocidad cuyo límite es 10 km/h, debido a que es la velocidad máxima del robot, las etiquetas son: velocidad muy baja (VMB), velocidad baja (VB), velocidad normal (VN), velocidad alta (VA) y velocidad muy alta (VMA).

El estándar ISO-13482 indica que todo dispositivo robótico empleado para rehabilitación y cuidado no debe de exceder los 20 km/h [31].

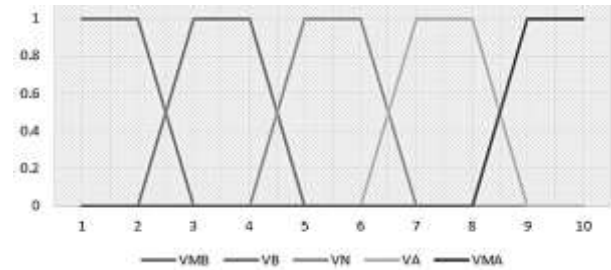


Gráfico 3 Variable de control velocidad

Fuente: Elaboración propia

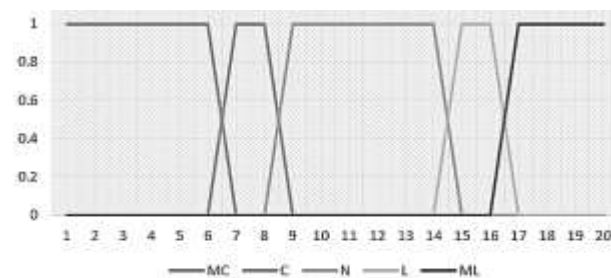


Gráfico 4 Variable de control distancia mínima

Fuente: Elaboración propia

Sistema difuso para el control de distancia de choque mínima

La determinación de la distancia es calculada mediante un sistema difuso cuyas variables son la experiencia del usuario y la distancia a un obstáculo, de esta forma si el usuario tiene poca experiencia podrá detenerse a tiempo, mientras que si tiene una mayor experiencia le permitirá acercarse más a los objetos.

Las variables de estado son mostradas en las Gráficas 1 y 2, mientras que la Gráfica 4 muestra la relación de las etiquetas lingüísticas con la distancia mínima, las variables de estado tienen 5 etiquetas lingüísticas: muy lejano (ML), lejano (L), normal (N), cerca (C) y muy cerca (MC).

Distancia	Experiencia				
	MB	B	N	A	MA
MC	VMB	VMB	VMB	VB	VB
C	VMB	VB	VB	VB	VN
N	VB	VB	VN	VN	VN
L	VN	VN	VA	VA	VA
ML	VN	VA	VMA	VMA	VMA

Tabla 4 Reglas difusas para la velocidad máxima

Fuente: *Elaboración propia*

El conjunto de reglas difusas empleado es mostrado en la Tabla 4, fue obtenido a partir entrevistas con usuarios de sillas de ruedas y el tipo de velocidad que requieren para realizar sus actividades. La Tabla 5 muestra las reglas difusas para determinar la distancia mínima de alto y la retroalimentación auditiva por medio de módulos texto a voz en el dispositivo móvil.

Diseño del sistema de interface entre el celular y el hardware

La Figura 11 muestra el diagrama a bloques del hardware del robot, el cual consta de un módulo de Bluetooth serial para la interface entre el hardware y la aplicación en el Smartphone. Un módulo IOIO que media la comunicación entre los sensores, Bluetooth y el puente H; el dispositivo IOIO recibe la señal por parte de la tarjeta de adquisición de datos en forma serial, por lo que la actualización de la información se realiza a razón de 20 milisegundos por sensor ultrasónico, un ciclo completo es de 100 milisegundos más 1 milisegundo por cada paquete, por lo que la frecuencia de actualización es de 9.6 veces por segundo.

Distancia	Experiencia				
	MB	B	N	A	MA
MC	MC	MC	MC	C	C
C	MC	C	C	C	N
N	C	C	N	N	N
L	C	N	L	L	L
ML	N	N	ML	ML	ML

Tabla 5 Reglas difusas para determinar la distancia mínima

Fuente: *Elaboración propia*

La tarjeta TREX permite el control de los motores de 5 amperios del robot mediante un PWM programable vía protocolo serial [32]. La señal serial proviene de la aplicación del smartphone a través de los módulos bluetooth y la tarjeta IOIO. La tarjeta de adquisición de datos recaba la información de los sensores, se empleó la tarjeta Arduino Mega, por ello el tiempo de adquisición lo realiza secuencialmente.

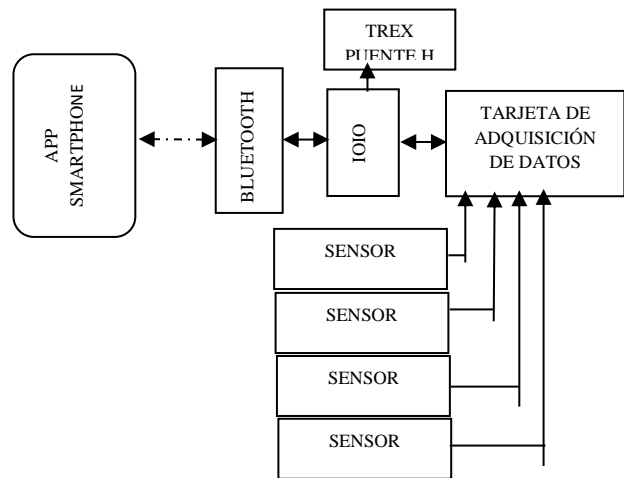


Figura 11 Diagrama a bloques del hardware del robot

Fuente: *Elaboración propia*

Resultados

La aplicación identifica la inclinación del rostro del usuario respetando los límites establecidos, además retroalimenta por texto a voz la elección tomada.

La figura 12 muestra la interface creada y la adaptación del dispositivo móvil al rostro del usuario. El tiempo de respuesta del sistema al momento de tomar una decisión varía entre 120 ms y 131 ms de acuerdo a la Tabla 6, debido al tiempo de comunicación, adquisición de datos de los sensores y uso de protocolos seriales. El hardware implementado se muestra en la Figura 13.



Figura 12 Usuario empleando control por inclinación con un Smartphone Android

Fuente: Elaboración propia

Se probó la aplicación en diversos Smartphone obteniendo una frecuencia en el ciclo de detección y control que varía entre 8.3 y 7.6 veces por segundo, debido a que los motores requieren un tiempo de arrancado y variación de velocidad además que el cambio de dirección propuesta no es constante el periodo obtenido es aceptable. Los requerimientos de la aplicación son 12 KB disponibles para memoria de datos y el espacio del programa en 3.52 MB.

Modelo	Microprocesador	Memoria	Tiempo
Galaxy S5	2.5 Ghz	2G	120 ms
Moto G	1.2 Ghz	1G	131 ms
Galaxy A5	1.2 Ghz	2G	125 ms
HTC ONE	1.5 Ghz	1G	123 ms

Tabla 6 Tiempo de adquisición y control del robot

Fuente: Elaboración propia

Agradecimiento

El presente trabajo de investigación fue desarrollado con el apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, en el departamento de ingeniería en sistemas computacionales con el cuerpo de investigación Sistemas de información para administrar procesos bajo la LGCA Domótica y Robótica.

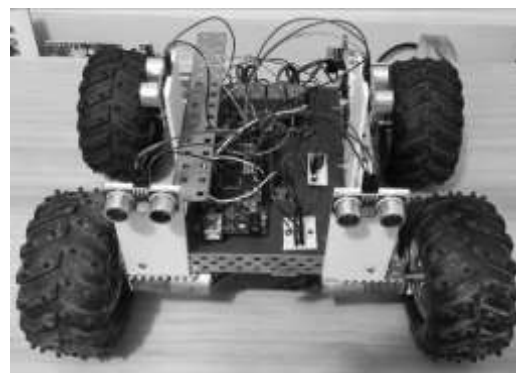


Figura 13 Hardware implementado

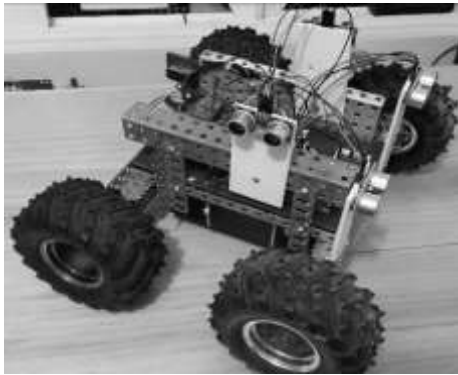


Figura 13 Hardware implementado

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El control implementado con cómputo móvil ofrece otras ventajas a comparación con el cómputo tradicional: circuitos de recarga de batería más económicos; mayor tiempo de autonomía; uso de los sensores integrados del celular permiten medir la velocidad, aceleración, presencia entre otras variables sin aumentar el costo de una IWs. El método de adquirir la dirección propuesta mediante la inclinación del rostro permite que usuarios puedan controlar un robot móvil con menor esfuerzo comparado al joystick. La determinación de la distancia mínima de choque y velocidad máxima, permite modificar las variables de control de un robot móvil, haciendo que esta se adapte al usuario y mejore su interacción hombre robot.

Referencias

[1] Harold Soh, Y. D. "Learning Assistance by Demonstration: Smart Mobility". Journal of Human-Robot Interaction, 76-100, 2015.

[2] R. S. Rao, K. C. "Human Robot Interaction: Application to Smart Wheelchairs". Proceedings of the 2002 IEEE, 3583-3588, 2002.

[3] Rory A. Cooper, H. O. "An introduction to rehabilitation engineering". Pennsylvania: Taylor & Francis Group, 2007.

[4] Damian Gordon, C. O. "Teaching Universal Design in computer science". Universal Design in Education Conference 1, 2015.

[5] Maisel, E. S. "Universal Design: Creating Inclusive Environments". New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2012.

[6] Smith, W. P. "Universal Design Handbook, 2nd Edition 2". New York: McGraw Hill Professional, 2010.

[7] Página Web de National Disability Authority, Universal Design. "Centre for Excellence in Universal Design". Obtenido de: <http://www.universaldesign.ie/>

[8] Sanford, J. A.. "Design for the ages: Universal design as a rehabilitation strategy". Georgia: Springer Publishing Company, 2012.

[9] Gaudino EA, M. L.. "Development of the Functional Assessment Taxonomy". Washinton: US National Library of Medicine, 2001.

[10] INEGI, "Censo General de población y Vivienda 2010". Ciudad de México: INEGI, 2010.

[11] Bouck, E. C. "Assistive Technology". Singapore: SAGE, 2016.

[12] Sante, O. M., "Organisation mondiale de la santé. Obtenido de "Technologies d'assistance", obtenido de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/assistive-technology/fr/>

- [13] Rodrigo A. M. Braga, M. P., "*Concept and Design of the Intellwheels Platform for Developing Intelligent Wheelchairs*". En J. A. Cetto, *Informatics in Control, Automation and Robotics* (págs. 191-203). Portugal: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [14] M. R. Petry et al, "*IntellWheels: Intelligent wheelchair with user-centered design*". *e-Health Networking, Applications & Services (Healthcom)*, 414-418, 2013.
- [15] A. Ruíz-Serrano et al, "*Development of a dual control system applied to a smart wheelchair, using magnetic and speech control*". *Procedia Technology: 3rd Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science, CIIIECC 2013*, 158-165, 2013.
- [16] Amberlay Ruíz-Serrano et al, "*Obstacle Avoidance Embedded System for a Smart Wheelchair with a Multimodal Navigation Interface*". *Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, 2014 11th International Conference on, 1-6, 2014.
- [17] Rosalie H Wang, A. M., "*Usability testing of multimodal feedback interface and simulated collision-avoidance power wheelchair for long-term care home residents with cognitive impairments*". *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 801-821, 2011.
- [18] Rosalie H Wang, T.-V. H., "*Evaluation of an intelligent wheelchair system for older adults with cognitive impairments*". *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2013.
- [19] Rosalie H. Wang, P. V., "*A Wizard-of-Oz Intelligent Wheelchair Study with Cognitively-Impaired Older Adults: Attitudes toward User Control*". *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop on Assistive Robotics for Individuals with Disabilities: HRI Issues and Beyond*. Chicago, Illinois, USA: IEEE Xplore, 2014.
- [20] Dawson D.R., C. R., "*Development of the power-mobility indoor driving assessment for residents of long term care facilities*". *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 269-276, 1994.
- [21] J. C. Garcia, M. M., "*Intelligent Wheelchairs: Filling the Gap between Labs and People*". *Technology: From Research to Practice: AAATE 2013 vol. 33*, pág. 202, 2013.
- [22] Jicheng FU, E. M., US Patente n° US 2016/0143593 A1, 20165.
- [23] Stephen William Kelly, M. H., "*Powered Wheelchair Platform Assistive Technology Deveelopment*". *Fifth International Conference on Emerging Security Technologies (EST)* (págs. 52-56). Alcala de Henares, España: IEEE Xplore Digital Library, 2014.
- [24] Rodrigo A. M. Braga, M. P., "*Concept and Design of the Intellwheels Platform for Developing Intelligent Wheelchairs*". En J. A. Cetto, *Informatics in Control, Automation and Robotics* (págs. 191-203). Portugal: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [25] Youcef Touati et al, "*Smart Powered Wheelchair Platform Design and control for People with Severe Disabilities*", *Software Engineering 2012*, 49-56, 2012.

[26] G. Bourhis, M. S., "*Assisted Control Mode for a Smart Wheelchair*". Proceedings of the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, (págs. 158-163). Noordwijk, The Netherlands: IEEE Xplore, 2007.

[27] Bonarini, A. C., "*Introducing LURCH: A shared autonomy robotic wheelchair with multimodal interfaces*". Proceedings of IROS 2012 Workshop on Progress, Challenges and Future Perspectives in Navigation and Manipulation Assistance for Robotic Wheelchairs, 2012.

[28] Gu, P., AIRLab. Obtenido de "LURCH - The autonomous wheelchair": <http://airwiki.ws.dei.polimi.it/index.php/Lurch>

[29] Shraddha Uddhav khadilkar, N. W., "*Android phone controlled Voice , Gesture and Touch screen operated Smart Wheelchair*". International Conference on Pervasive Computing (ICPC). Pune, India: IEEE Xplore, 2015.

[30] Wolfgang Ertel, "*Introduction to Artificial intelligence*", Springer Verlag London Limited, 2011.

[31] ISO-13482:2014, "*Robots and robotics devices-Safety requirements for personal care robots*", International Organization for Standardization, 2014.

[32] Pololu, "Pololu Trex User's Guide", Hoja de datos, 2015.

[33] Chavez Saenz V., "*Adquisición y análisis de señales electroencefalográficas utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+*", ECORFAN Revista de Tecnología e Innovación, México, Junio 2016.

Prototipo de control administrativo del proceso de producción en invernaderos

HERNÁNDEZ-TAPIA, Zaila*†, REYNA-ÁNGELES, Omar, SOTO-FERNÁNDEZ, Susana Leticia y ACOSTA-ACOSTA, Araceli

Universidad Politécnica De Francisco I. Madero

Recibido 24 de Octubre, 2017; Aceptado 20 de Diciembre, 2017

Resumen

Actualmente la mayoría de productores de invernadero de la región del Valle del Mezquital, llevan de forma manual el registro de los gastos generados durante el proceso de siembra, en ocasiones existen gastos que se generan de forma inmediata (no planeada) y que posteriormente no son registrados, por lo que al momento de calcular las ganancias al término de la cosecha, el resultado no refleja el monto exacto. El propósito del presente trabajo, es tener un mejor control de la inversión generada en una siembra a través del diseño de un sistema de información que permita registrar y controlar todos los gastos por mencionar algunos, tenemos la aplicación de nutrientes, prevención de plagas, planeación de la producción, salarios de empleados y gastos de mantenimiento, esto permitirá no solo calcular de forma exacta las ganancias, sino también servirá para que a través de los registros históricos se puedan tomar decisiones sobre que sembrar de acuerdo al cultivo que más ganancias generó, para lo cual se tienen considerados cuatro módulos: Siembra, Prevención, Nutrientes y Gastos.

Sistema de control, gastos generados, Invernadero

Citación: HERNÁNDEZ-TAPIA, Zaila, REYNA-ÁNGELES, Omar, SOTO-FERNÁNDEZ, Susana Leticia y ACOSTA-ACOSTA, Araceli. Prototipo de control administrativo del proceso de producción en invernaderos . Revista de Energías Renovables 2017. 1-3:17-21

Abstract

Nowadays, most of the greenhouse producers in the region of Valle del Mezquital use a manual registration for the costs generated during the planting process, sometimes costs that are generated urgently (not planned) are not registered later. Therefore, when it is calculating the gains at the end of the harvest, the result does not reflect the exact amount. The purpose of the present work is to have a better control of the investment generated in a seedtime through the design of an information system permitting to register and control all the expenses, to mention some, we have the application of nutrients, pest prevention, planning of production, employee salaries and maintenance costs. This will not only calculate the profits accurately, it will also serve to take decisions through the history records on what to seed according to the most profitable crop generated. Consequently, four modules are considered: Seedtime, Prevention, Nutrients and Expenses.

Control System, Costs generated, Greenhouse

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: zhernandez@upfim.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La superficie con hortalizas en México asciende a 640,000 ha. (3.8% de la superficie agrícola nacional), que generan el 19% del valor de la producción total y el 55% de las divisas por exportación de todo el sector (1,740 milldls). El 60% se concentra en jitomate y pimiento morrón.

En el Estado de Hidalgo la superficie cultivada con hortalizas es de 8,310 ha, las cuales son totalmente de riego y representan el 1.33% de la superficie agrícola, donde sobresalen los cultivos de chile verde, calabacita, ejote, tomate de cáscara verde, jitomate y pepino.

Dentro de las localidades con mayor desarrollo en esta área se destacan los casos de Tecozautla y Actopan, el primero tiene 20 ha de invernaderos de alta tecnología produciendo pimiento morrón para exportación con una capacidad instalada de 500 ton/ha anuales.

En el caso de Actopan se cultiva pimiento morrón, el cual se comercializa principalmente en la central de abastos en la ciudad de México. El mercado internacional para Tecozautla se concentra principalmente en Brownsville, Matamoros, Mc Allen que es donde se tienen la exportación de estos productos.

El artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta el trabajo relacionado con otros sistemas desarrollados con la temática de invernaderos de hortalizas. En la Sección 3 la descripción del problema y metodología aplicada y finalmente en la sección 4 se discuten los resultados y el trabajo futuro.

Estado del Arte

Dentro de las ventajas más notables de sembrar en invernaderos encontramos: El crecimiento de la planta, intensificación de la producción, se puede cultivar todo el año, obtención del producto fuera de temporada, obtención del producto en regiones con condiciones restrictivas, aumento de rendimiento por unidad de superficie y en general se puede tener un mejor control ya que el cultivo no puede ser afectado por el clima externo. Es por ello que muchos agricultores están apostando por utilizarlos.

Green Tech Supervisor ofrece al usuario 4 tipos diferentes de control disponibles en una misma plataforma, es un sistema adaptable a cualquier tipo de clima, se puede modificar las consignas de referencia, así como los porcentajes de actuación (Martínez, 2007). En el trabajo de tesis (Guadarrama O.) trata de la automatización del clima de un invernadero, usando como recurso calefactor la quema de combustible biogás producido por la descomposición de plantas y heces de animales. El Sistema de control de la humedad para invernaderos, de innovaciones técnicas agrícolas se enfoca en el control de humedad en los invernaderos para estimular el crecimiento de las plantas, evitar problemas fisiológicos y enfermedades, INTA ha desarrollado un sistema de control de humedad muy completo.

Con lo anterior podemos definir que no existe algún sistema que se tenga el mismo objetivo que el sistema que se pretende desarrollar.

Descripción del problema

Los agricultores del Valle del Mezquital no cuentan con una herramienta que les permita llevar el control de inversión generada desde el proceso de siembra hasta el de cosecha de los invernaderos de hortalizas, que ayude a facilitar a los productores la toma de decisiones.

Por lo anterior, se desarrolla un prototipo que se encuentra en la etapa de desarrollo y consiste en cuatro módulos: Siembra, Prevención, Nutrientes y Gastos, con ello se pretende lograr tener un mejor control de los procesos que se desarrollan en invernaderos de hortalizas, facilitando a los productores la toma de decisiones.

Metodología

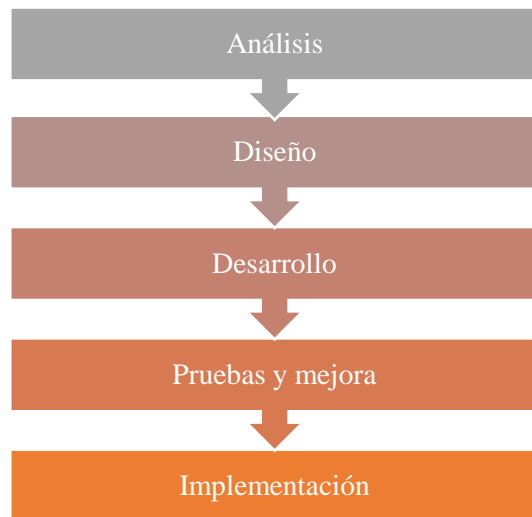


Figura 1 Metodología de desarrollo

Fuente. Elaboración propia basada en el modelo en cascada.

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto es Cascada:

1. **Análisis.** En esta etapa se determinan los requerimientos de acuerdo a las necesidades de almacenamiento y procesamiento de información de la bitácora que utilizan los productores.
2. **Diseño.** Con la información obtenida en la etapa del análisis, se comienza a realizar el modelo de la base de datos y las interfaces del sistema.
3. **Desarrollo.** Se determina trabajar implementando la base de datos en el DBMS SQL Server 2005 y el diseño y codificación de la interfaz de usuario en un lenguaje de programación Java NetBeans, con la finalidad de reducir el costo de la aplicación, además de que es un editor de código rápido y fácil, SQL Server 2005 proporciona beneficios como lenguaje de acceso a bases de datos que explota la flexibilidad y potencia de los sistemas relacionales y permite así gran variedad de operaciones y seguridad. Así el productor podrá adquirir el sistema en un costo accesible. De acuerdo al diseño y determinadas las herramientas que se utilizaran, se procede a iniciar la creación de versión inicial.
4. **Pruebas y mejoras.** Puesta en marcha de la versión inicial para su evaluación y rectificación de características, verificar que las especificaciones de análisis y diseño fueron respetadas por el desarrollador y si no fue así se tendrán que realizar algunas mejoras.
5. **Implementación.** Se inicia esta etapa cuando el sistema ya pasó por las pruebas pertinentes las cuales son realizadas por el usuario final, quien es la persona que utilizara el sistema.

Resultados

A continuación se muestra el modelo relacional, el cual es indispensable por ser un esquema que contiene la definición de una estructura como son las tablas y relaciones, de la base de datos.

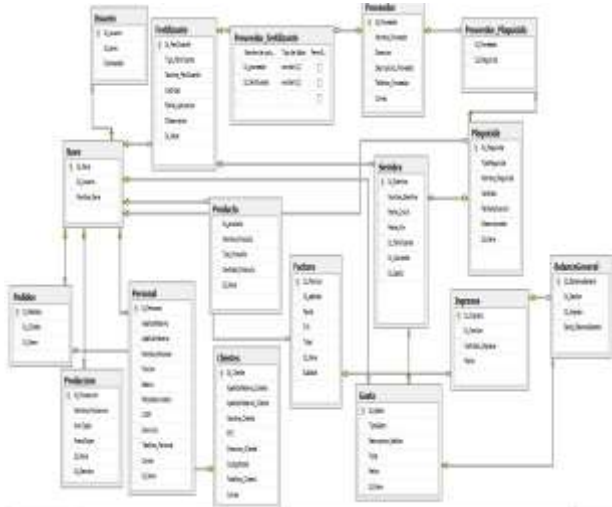


Figura 2 Modelo relacional

Fuente. Elaboración propia

Actualmente el sistema se encuentra en la etapa de desarrollo, por lo que solo se anexan algunas de las pantallas:

La siguiente imagen representa la primer interfaz del sistema, por medio del cual se podrá acceder al sistema de manera segura.

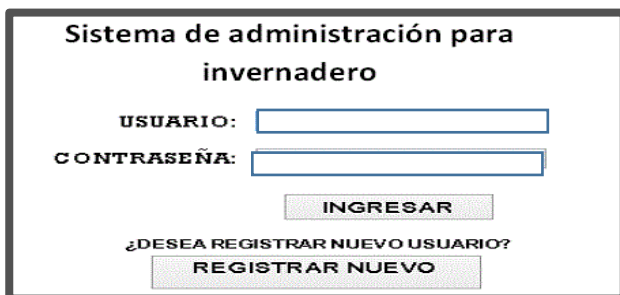


Figura 3 Pantalla para ingresar al sistema

Fuente. Elaboración propia

En la siguiente imagen se pueden observar los menús que contendrá el sistema, los cuales son: Siembra, Prevención, Nutrientes y Gastos.

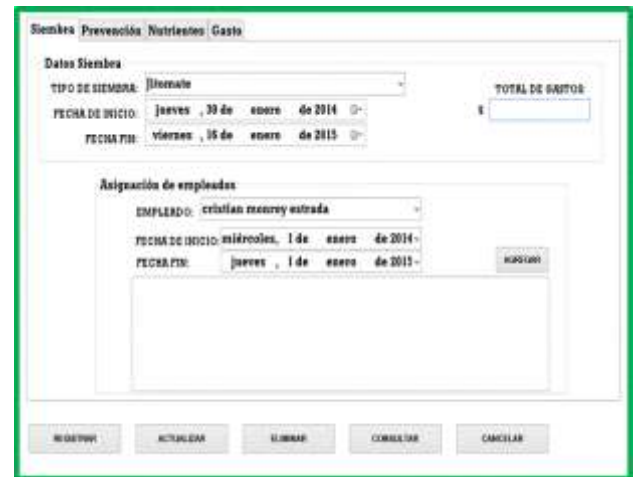


Figura 4 Menús del sistema

Fuente. Elaboración propia

Agradecimiento

Ing. Juan de Dios Nochebuena Hernández, Rector de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero.

Alumnos de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales que colaboraron en el desarrollo de este proyecto: Idzel Moctezuma López, Nadia Cortes Azpeitia, Alma Delia Pérez Hernández, Esther Zurisadai Vázquez Vázquez y Alexis Uriel Sierra Monrroy.

Conclusiones

Finalmente, el trabajo realizado presenta un prototipo que servirá como herramienta tecnológica para los productores que trabajan en invernaderos, esto les permitirá tener un mejor control de la inversión generada en una siembra, a través del sistema de información en donde se registraran y controlaran los gastos generados durante todo el proceso siembra, por mencionar algunos, la aplicación de nutrientes, prevención de plagas, planeación de la producción, salarios de empleados y gastos de mantenimiento de invernaderos. Toda esta información servirá como referente para la toma de decisiones; por ejemplo a través de los registros históricos determinar que sembrar, de acuerdo a las ganancias reales obtenidas.

El prototipo que se presenta consiste en cuatro módulos: **Siembra, Prevención, Nutrientes y Gastos**, el cual fue diseñado de acuerdo a las necesidades referidas en una entrevista aplicada a productores de invernadero de la región del Valle del Mezquital.

Como trabajos a futuro, se terminará el sistema concluyendo la etapa de desarrollo y la implementación para que el agricultor quien es el usuario final apruebe la funcionalidad del sistema.

Referencias

- Guadarrama O. (2014). Tesis Automatización de clima para un invernadero.
- Mónica Araceli Reyes Rodríguez, Genoveva Rosano Ortega, Martha Sheila Gómez, González. (2012). Desarrollo de Sistemas Administrativos y Contables. Morelia, Michoacán México: 3er Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática Administrativa.
- Pedro F. Martínez, software para la gestión automática de invernaderos hidropónicos, 2007, http://www.infoagro.com/noticias/2007/1/3042_agricultura_patenta_un_software_gestion_automatica.asp
- Piattini, M., Calvo-Manzano, J. A., Cervera, J., Fernández, L. “Análisis y Diseño Detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión”. Ra-ma, 2004
- Chen, P. “ The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data ”. ACM Transactions on Database Systems, 1(1):9-36. March 1976.
- Pedro F. Martínez. (2007). Agricultura patentada un software para la gestión automática de invernaderos hidropónicos. 10/01/2007, de Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), en colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia Sitio web: http://www.infoagro.com/noticias/2007/1/3042_agricultura_patenta_un_software_gestion_automatica.asp
- Pressman, R. S. “ Ingeniería del Software: Un Enfoque Práctico ”. 5ª Edición. McGraw-Hill. 2002
- Hatley, D. J., Pirbhai, I. “ Strategies for Real-Time System Specification ”. Dorset House Publishing, 1987
- [Ward y Mellor, 1985] Ward, P. T., Mellor, S. J. “ Structured Development for Real-Time Systems. Volume 1: “Introducción and Tools” Yordan Press/Prentice-Hall.
- <https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Sistema-de-control-de-la-humedad-65214.html>

Diseño e implementación de un dispositivo electrónico registrador de estados de anemia

SÁNCHEZ-MEDEL, Luis Humberto†, GALICIA-GALICIA, Laura Adriana, MOLINA-GARCÍA, Moisés y GARCÍA-AMECA, Lauro Alfredo

Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

Recibido 13 de Octubre, 2017; Aceptado 15 de Diciembre, 2017

Resumen

El porcentaje de población en el mundo que sufre enfermedades provocados por anemia que afectan el desarrollo cognitivo y motriz es muy grande, de acuerdo a datos recabados por la Organización mundial de la salud (OMS) en 2010. El instituto nacional estadística geografía e informática (INEGI) nos da a conocer que en México 12.4 millones de personas se enfrentan a este problema, por lo que los países en pleno desarrollo son los más afectados con un crecimiento anual del 13%. El registro continuo de anemia es importante ya que este auxiliar en el seguimiento al paciente para que el médico determine si el medicamento usado o las instrucciones dadas fueron efectivas. La base fundamental para llevar un registro de los datos del usuario es por medio de papel, los cuales son posteriormente archivados. Este artículo muestra los resultados de la implementación de un instrumento analizador y registrador de anemia. El dispositivo consta de un sensor óptico el cual detecta colores, posteriormente envía una señal a un circuito acondicionador de voltaje y a una tarjeta IOIO, esta última procesará los datos y realizará la comunicación con un dispositivo móvil por medio de una App.

Sensor, anemia, SmartPhone, App

Abstract

The percentage of the world's population suffering from anemia diseases that affect cognitive and motor development is very large, according to data collected by the World Health Organization (WHO) in 2010. The national statistical institute geography and informatics (INEGI) shows that in Mexico 12.4 million people are facing this problem, reason why the countries in full development are the most affected with an annual growth of 13%. Recording anemias data is important because it helps following up the patient so the doctor can determine if the medication used or the instructions given were effective. The fundamental basis for keeping a record of the user's data is by means of paper, which are then archived. This paper shows the results of the implementation of an anemia analyzer and recorder. The device consists of an optical sensor which detects colors, then sends a signal to a voltage conditioning circuit and an IOIO card, the latter will process the data and make the communication with a mobile device through an App.

Sensor, Anemia, SmartPhone, App

Citación: SÁNCHEZ-MEDEL, Luis Humberto, GALICIA-GALICIA, Laura Adriana, MOLINA-GARCÍA, Moisés y GARCÍA-AMECA, Lauro Alfredo. Diseño e implementación de un dispositivo electrónico registrador de estados de anemia. Revista de Energías Renovables 2017. 1-3:22-33

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La anemia es un síndrome que afecta a la sangre, se puede manifestar por cansancio o fatiga, debilidad muscular, palidez de piel y mucosas, palpitaciones, dolor de cabeza, irritabilidad y sensación de falta de aire, [1] y [2]. Hoy en día se puede detectar mediante un análisis rutinario hecho por un análisis químico (biometría hemática), la cual mide tres tipos de células que se encuentran en la sangre: glóbulos rojos (transportan oxígeno y eliminan productos de desecho), glóbulos blancos (combaten infecciones) y plaquetas, el exceso de glóbulos rojos es el indicativo principal de la existencia de esta enfermedad [3].

Las causas más frecuentes de anemia son una mala alimentación, dieta baja en hierro, pérdidas de sangre provocada por una hemorragia, menstruaciones muy abundantes, una mala alimentación, provocada por alimentos deficientes en hierro o dificultad para absorberlo [4].

Los sistemas de monitoreo y control de procesos de todo tipo se realizan con una estricta regulación, llevada a cabo por la instrumentación virtual, debido al constante avance tecnológico que requieren ciertas tareas para el mejoramiento y optimización tanto de recursos como de tiempos. Los sistemas de instrumentación virtual son ampliamente utilizados por su bajo costo, gran flexibilidad y también por el hecho de que pueden ser reconfigurados para entregar el mejor equilibrio requerido, así como por su alto rendimiento y ahorro considerable en tiempo de desarrollo.

Estado del arte

En esta sección se analizan los diferentes procedimientos y métodos en que se detectan enfermedades utilizando distintas formas para realizar el trabajo, además, también se tienen formas de registrar datos, guardarlos y posteriormente utilizarlos, esto nos ayuda a comprender mejor cómo funcionan los distintos dispositivos que hacen tareas similares a las que se hacen en este trabajo, con el fin de poder aplicar algunos pasos o herramientas en este proyecto y poder mejorar la calidad y funcionamiento de este.

EKF Diagnostics desarrollo un analizador de hemoglobina que entrega resultados en tan solo 25 segundos llamado EKF Diagnostics' Hemo Control, este funciona mediante una muestra de sangre tomadas del dedo índice, las cuales son insertadas en el dispositivo y de esta forma en la pantalla del dispositivo se muestra el valor de la hemoglobina, para la detección de anemia se tiene que un valor mayor a 9 será negativo y menor a este hay presencia de anemia como lo indica la Figura 1 [5].



Figura 1 Medidor de Hemoglobina

Fuente: EKF: Diagnostic for life, sitio web 2017

La universidad australiana Monash desarrolló Eyanemia, la cual es una App que funciona a través del color de los ojos analizándolo y entregando un resultado inmediato como se muestra en la Figura 2.

Es una herramienta de detección simple, no invasivo y de fácil acceso para la anemia hecho para ser utilizado por la gente común, implementada para el SO Windows pone, tiene las siguientes características:

- Aplicación fácil de utilizar
- Resultado rápido
- No es muy exacto (ya que la tonalidad en los ojos puede variar respecto a muchas otras enfermedades)

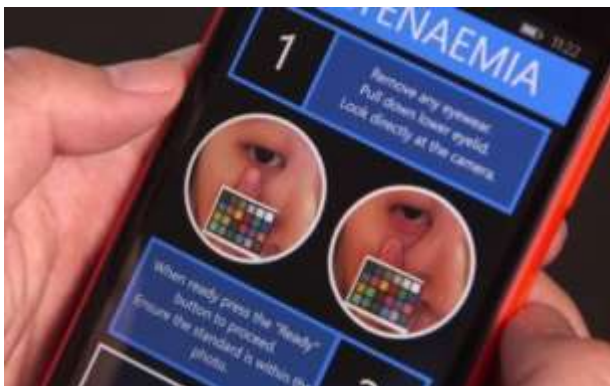


Figura 2 Eyanemia APP

Fuente: Eyanemia, sitio web 2017

El proyecto Glasswing Hb es un sistema no invasivo inalámbrico para medir la hemoglobina (Hb) utiliza un sensor óptico para el control de la anemia, la detección de la hemorragia y el examen pre-donación.

El sistema de medición Glasswing Hb se basa en la tecnología, patentada, SpectOLight, que proporciona una medición rápida, precisa y sin dolor de los componentes de la sangre del donante, mientras que mejora, en gran medida, la comodidad de los donantes, eliminando el riesgo de infección, y suministrándole al personal médico, con lecturas exactas y resultados inmediatos, mediante el uso de un láser aplicado al dedo índice como se ve en la Figura 3.

El dispositivo portátil e inalámbrico funciona con baterías recargables usando un sensor en forma de anillo colocado en el dedo del donante y que aplica presión, de manera temporal, ocluyendo el flujo sanguíneo local. Los elementos ópticos en el sensor luego realizan una medición sensible de la luz transmitida a través del dedo.

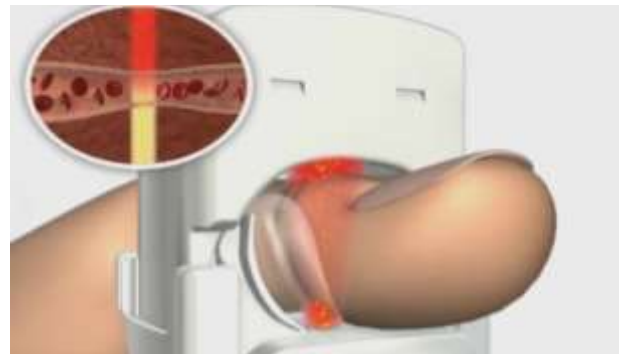


Figura 3 Sistema de medición de Hemoglobina

Fuente: OrSense, sitio web 2012

Un grupo de científicos de la Universidad de Burgos ha desarrollado un dispositivo para detectar anemia por medio de una gota de sangre, esta trabaja por medio de una lámina diseñada específicamente para detectar los niveles de hierro en un medio acuoso. Se describe como un material polimérico inteligente que cambia de color según la concentración de hierro contenido en la sangre.

El proceso consiste en depositar una gota de sangre sobre un fino disco de medio centímetro de diámetro y 0,1 mm de grosor, esperar 15 minutos y comparar el resultado con un patrón de referencia, de esta forma con el cambio de color se pueden detectar los niveles de hierro en la sangre y por ende saber si se tienen o no anemia.

Pero para conocer las cifras exactas, es necesario contar con un teléfono móvil para hacer una foto al disco con la prueba ya realizada es decir con la gota de sangre ya incorporada a lámina y con la ayuda de una aplicación se leerá el cambio de color, a través de la escala de RGB (rojo, verde y azul). Con los parámetros de color se puede determinar la cantidad exacta de hierro en sangre y se confirmaría la anemia vista previamente en la lámina como se muestra en la Figura 4 [6].



Figura 4 Dispositivo detector de anemia

Fuente: Unidad Editorial Información General S.L.U., sitio web 2017

Científicos de la Universidad del Estado de Kansas (Olathe, KS, EUA) hicieron el dispositivo con una impresora 1200 Projet 3D (3D Systems, Rock Hill, Carolina del Sur, EUA).

El dispositivo consiste en láminas transparentes, impresas en plástico 3D, que contienen microfluidos, las cuales se adhieren a un teléfono inteligente. El usuario añade una gota de sangre a un portaobjetos, que se utiliza para una prueba basada en la escala de colores. Los resultados de las pruebas se producen en menos de 60 segundos y se pueden leer con un teléfono inteligente como indica la Figura 5.

El dispositivo incluye un LED para iluminar la muestra, un lente óptico que magnifica la imagen, y dos imanes que realizan la llamada “levitación magnética”: la detección de células anormales, causantes de la anemia, que al ser más densas que el resto, tienden a “flotar”. El dispositivo puede ser utilizado tanto en investigación básica y aplicada como en diagnóstico [7] y [8].



Figura 5 Dispositivo de diagnóstico móvil

Fuente: UCONN Today, sitio web 2015

Metodología

El sistema hace uso del cambio de color de cintas reactivas por saliva. El cambio de color es medido mediante un sensor óptico CNY70 y un circuito seguidor de voltaje el cual evita la pérdida de información proveniente del voltaje del sensor óptico.

La interface Bluetooth con el celular se hace mediante una tarjeta IOIO-OTG, el cual debido a sus características de voltaje máximo permisible por el ADC requiere de una etapa de acondicionamiento de voltaje; las etapas del circuito son mostradas en la Figura 6. A continuación detallaremos la síntesis de las siguientes etapas: Sensor óptico, acondicionador seguidor de voltaje, ADC y IOIO.

Circuito sensor óptico

Un sensor óptico se basa en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia para determinar las propiedades de ésta [9], [10] y [11]. El circuito diseñado para la detectar colores emplea un CNY70, un par de resistencias y una fuente de 5 volts. Los colores de las tiras reactivas son: rosado (no reactivo a anemia) y naranja (reactivo a anemia), sin embargo al ser ambos colores similares es necesario que el sistema pueda diferenciarlos correctamente. El voltaje que alimenta a estos circuitos no lineales debe ser 5 volts para que permita una mayor exactitud en la diferenciación de colores a partir de su voltaje de activación, pues si se emplea el voltaje máximo permisible por el ADC de la tarjeta IOIO-OTG se incurren en falsos positivos al no existir un span de voltaje amplio para la diferenciación.

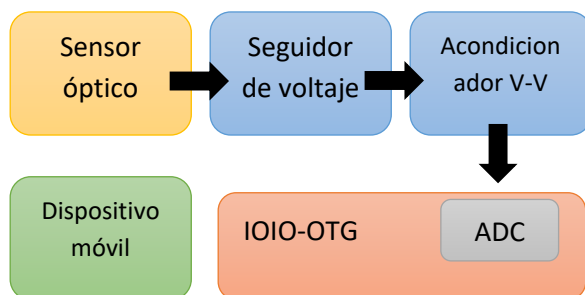


Figura 6 Etapas de la arquitectura del sistema

Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo a la hoja de datos del CNY70, la corriente máxima del LED es 50 mA, se propone para el diseño emplear la corriente media y calcular la resistencia mediante la ecuación 1.

$$R_{led} = (5 - V_d) / I_d = 140 \text{ ohms} \tag{1}$$

Se empleó una resistencia de 10 Kohms en R2 de acuerdo a la ecuación 2 para asegurar que la potencia del fototransistor sea menor a la máxima de acuerdo a la hoja de datos del CNY70 [12].

$$I_d = (5 - 0.3v) / 10\text{Kohms} = 0.47\text{mA} \tag{2}$$

Se realizaron 30 pruebas cuantitativas para medir el voltaje relacionado a un color de una tira sin emplear, tira no reactiva a anemia y tira reactiva a anemia, la Tabla 1 muestra el resultado de las pruebas.

Tira	Media	Desviación estándar
Reactiva	0.76 v	0.04 v
No reactiva	0.50 v	0.06 v
Sin emplear	0.38 v	0.05 v

Tabla 1 Relación reactivos-voltaje

En base en los cálculos obtenidos a partir de la conexión mostrada en la Figura 7 y la Tabla 1, se determinó que para el registro de colores de una anemia positiva tiene un color naranja con voltaje promedio de 0.76 volts y una tira no reactiva entrega un voltaje de 0.5 volts.

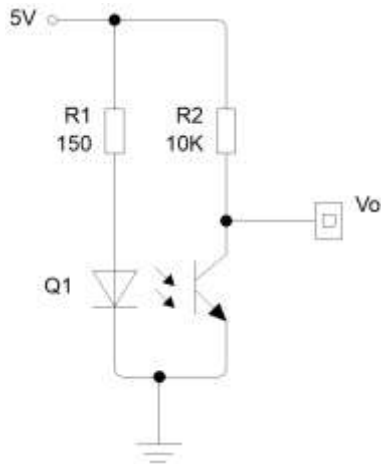


Figura 7 Conexión sensor CNY70

Fuente: Elaboración propia

Circuito acondicionador de voltaje

La salida del circuito sensor se pasa por un circuito seguidor de voltaje para asegurar que las etapas siguientes no drenen la corriente-voltaje proveniente del sensor, al ser la corriente de salida máxima del transistor 0.47 mA dependiendo la reacción de la tira.

El circuito seguidor de voltaje se muestra en la figura 8, para ello se empleó un LM358 debido a que permite ser alimentado con fuentes de asimétrica de voltaje [13], en este caso 9 volts provenientes de una batería.

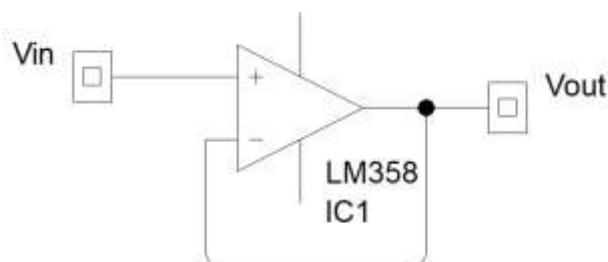


Figura 8 Circuito seguidor de voltaje

Fuente: Elaboración propia

El acondicionador de voltaje es usado para mantener una salida de voltaje con ganancia unitaria, a pesar de las variaciones en la entrada de la fuente y también de las variaciones que se puedan dar en la carga, regula la cantidad de voltaje que se administra al siguiente proceso.

La salida del seguidor de voltaje de ganancia unitaria como se muestra en la Figura 9. Se amplifica linealmente mediante un amplificador no inversor para evitar el uso de fuentes simétricas. El cálculo de la resistencia se base en la ganancia $k=2$ del amplificador emplea la ecuación característica en la ecuación 2 y al despejar las resistencias en la ecuación 3 se determina que ambas deben de tener el mismo valor, por lo que se propone el valor comercial de 1 Kohm.

$$K=1+R2/R1 \quad (2)$$

$$R1=R2 \quad (3)$$

Circuito convertidor de analógico a digital

La tarjeta IOIO sirve para agregar capacidades avanzadas de hardware de entrada/salida vinculadas a aplicaciones para Android o PC para realizar esta función cuenta con un microcontrolador [14] y [15]. Esta placa utiliza la conexión USB On-The-Go para conectarse como un *host* o un accesorio. Si la aplicación se está ejecutando en un dispositivo Android el IOIO-OTG actuará como un *host* USB y suministrará corriente de carga al dispositivo, en este caso el IOIO-OTG necesitará su propia fuente de energía) como se muestra en la Figura 10.

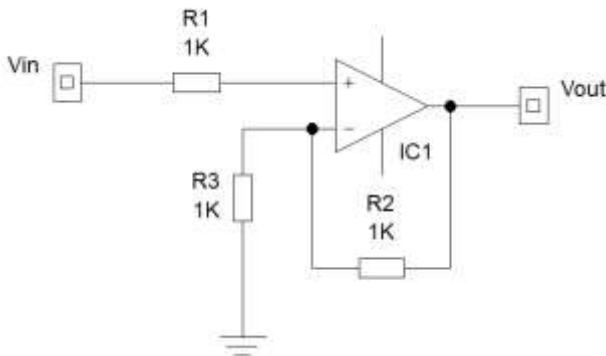


Figura 9 OPAMP LM358

Fuente: Elaboración propia

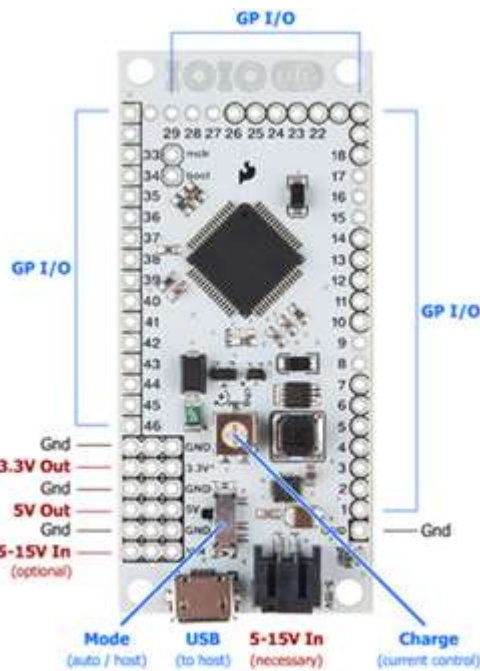


Figura 10 Conexión IOIO OTG

Fuente: SparkFun, 2015

El convertidor de señal de voltaje a digital (ADC) de la placa IOIO OTG es a 10 bits y cuenta con una frecuencia de 1 KHz, ya que El IOIO-OTG. La tarjeta IOIO tiene dos reguladores de tensión:

- Un regulador de conmutación que puede tomar la entrada 5V-15V y da salida hasta 1.5A de 5V CD.

- Un regulador lineal que se alimenta de la línea de 5V y da salida hasta 800mA de 3.3V CD empleado para el ADC.

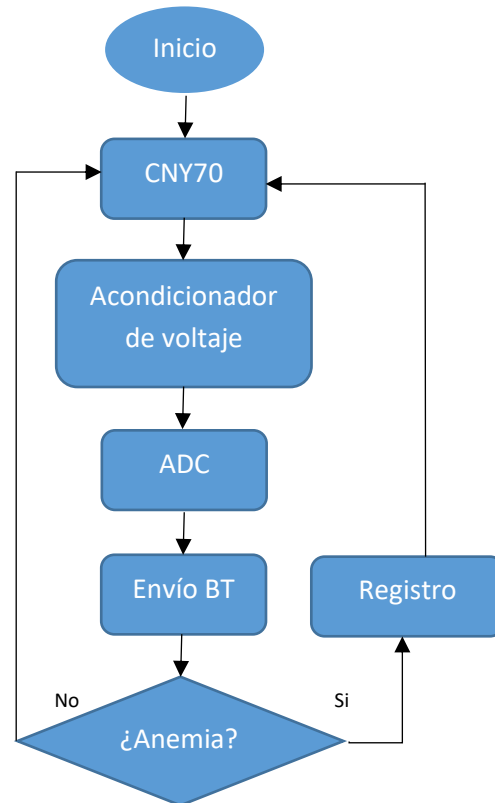


Figura 11 Diagrama de flujo de adquisición de datos

Fuente: Elaboración propia

La etapa de salida de la figura 9 entrega 1.52 volts para tiras reactivas, 1 volts para tira no reactiva y 0.76 volts para aquellas tiras que no han probado. El ADC de la IOIO trabaja a 3.3v y 10 bits de resolución, las ecuaciones 4, 5, 6 y 7 determinan el valor del umbral requerido para la detección de la anemia por parte de la App.

$$V_p = 3.3 \text{ v} / 1024 = 3.2 \text{ mV} \tag{4}$$

$$\text{ADC}(1.52\text{V}) = 1.52\text{V} / 3.2\text{mV} = 475 \tag{5}$$

$$\text{ADC}(1\text{V}) = 1 / 3.2\text{mV} = 312 \tag{6}$$

$$ADC(0.76V)=0.76/3.2mV=237.5 \quad (7)$$

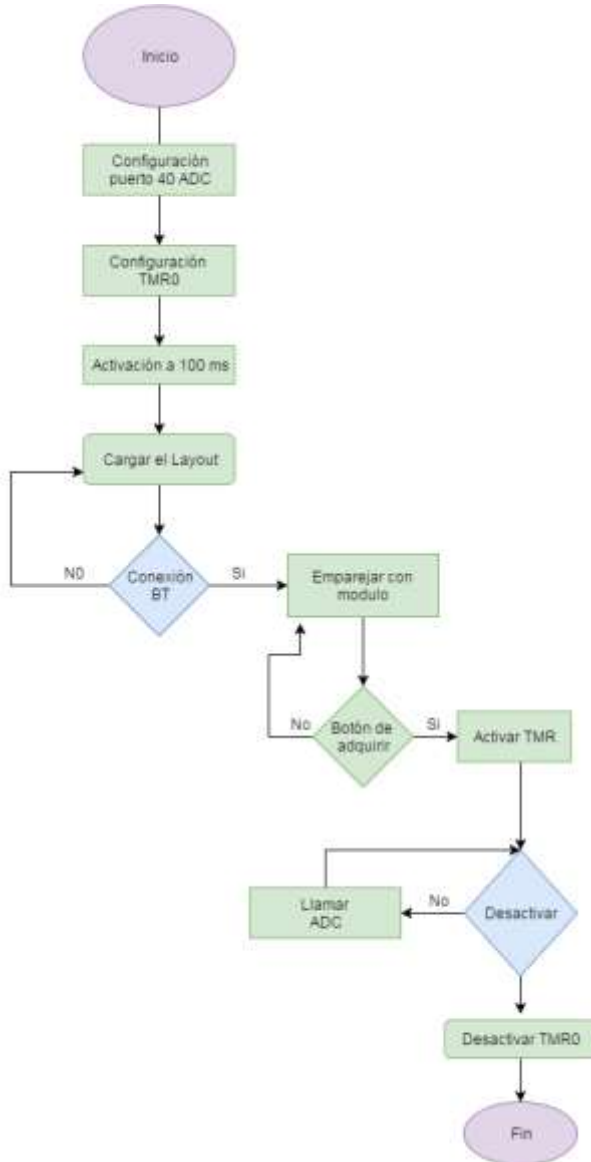


Figura 12 Diagrama de flujo de APP

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se muestra el diagrama mediante el cual se hace la adquisición de datos de estados de anemia, desde el uso del sensor hasta lograr el mensaje que será mostrado en el dispositivo Android.

Algoritmo de control

En las figuras 12 se explica la forma en el que trabaja el algoritmo que usa la App mediante un diagrama de flujo, en la cual se envía la señal obtenida por el sensor y convertida a una señal digital por el OPAMP, para que de esta forma el envío de datos sea más exacta al App.

```

1  'Aquí se describen los atributos del proyectos que se
2  'veran en el dispositivo móvil
3  #Region Project Attributes
15 'Atributos de las actividades
16 #Region Activity Attributes
22 'Estas variables serán declaradas una vez que la
23 'aplicación inicie y serán accesibles desde todos los módulos
24 #Sub Process Global
31 'Estas variables se redeclaran cada vez que se reinicie la
32 'actividad, solo pueden ser accedadas desde este módulo
33 #Sub Global
87 'Creación de la actividad
88 #Sub Activity_Create(firsttime As Boolean)
123 'Acciones que realiza cuando se cierra el programa
124 #Sub Activity_Resume
127 'Acciones que realiza cuando se sale del programa (cambis de App)
128 #Sub Activity_Pause (UserClassed As Boolean)
141 'Subrutina para la conexión del IOIO
142 #Sub togglebutton1_CheckedChange(Checked As Boolean)
166 'Subrutina que maneja una vez que ha sido conectado el IOIO
167 #Sub ioio1_connected(noerror As Boolean)
187 'Temporizador que maneja el reintento de conexión
188 #Sub timer1_tick
210 'Temporizador para chequear el estado del IOIO
211 #Sub timer10_tick
219 'Obtiene el estado de la conexión
220 #Sub Button1_Click
224 'Obtiene información del BT
225 #Sub Button2_Click
245 'Captura el log
246 #Sub logGet_LogGetData(buffer() As Byte, Length As Int)
255 'Busca en el log por el valor dado y lo muestra en la lista
256 #Sub Spinner1_ItemClick (Position As Int, Value As Object)
271 'Prueba la salida digital
272 #Sub togglebutton7_CheckedChange(Checked As Boolean)
287 'salida de led de la prueba digital
288 #Sub led_open(noerror As Boolean, result As Object)
297 'Prueba la entrada analógica
298 #Sub ToggleButton16_CheckedChange(Checked As Boolean)
308 'Abre el pin 40
309 #Sub pin40_open(noerror As Boolean, result As Object)
352 'Termina el sample
353 #Sub sample_done(noerror As Boolean, list1 As List)

```

Figura 13 Implementación de la APP

Fuente: Elaboración propia

La figura 13 muestra la implementación dela APP y las secciones del código comentadas de acuerdo a [16].

Al abrir la interfaz se carga el layout para el usuario, posteriormente se solicita la conexión al dispositivo en hardware empleando temporizadores para medir el tiempo para reintento de conexión, de no estar disponible se envía un mensaje de error al usuario. La aplicación es capaz de emparejar hasta 16 dispositivos distintos.

Una vez emparejados se debe de introducir la tira reactiva al hardware para que el sistema pueda sensarlo, posteriormente el usuario presiona el botón de analizar. Al presionar el botón, se activa un temporizador para poder realizar 30 mediciones continuas y obtener el promedio de las mediciones con el objeto de eliminar falsos positivos. Si se ha detectado anemia, entonces se registra la información en la App, de lo contrario se descarta.

Resultado

La figura 14 muestran el hardware armado sin la tapa con el fin de ver los dispositivos interiores con los que fue necesario contar para realizar el dispositivo, entre los más importantes la placa IOIO OTG, sensor CNY70 y la etapa acondicionadora de señal. En la fig. 14 se tiene el dispositivo encendido para mostrar el funcionamiento de la placa IOIO y sensor, con la utilización de fotografía se puede observar como el sensor esta funcionando ya que la parte emisor muestra una luz.



Figura 14 Sensor y Hardware

Fuente: Elaboración propia

En la fig. 15 se tiene los colores que son utilizados para entregar los resultados de los análisis clínicos de anemia, estos son los que utilizaremos para realizar los registros, de izquierda a derecha se tiene el positivo y negativo.



Figura 15 Colores de las muestras utilizadas

Fuente: Elaboración propia

Para poder realizar los registros fue necesario crear una APP, la cual se muestra en la Fig. 16, en las siguientes figuras se muestran impresiones de pantalla de dicha APP.



Figura 16 Menu App android

Fuente: Elaboración propia

Antes de comenzar a utilizarla se debe conectar vía bluetooth el dispositivo hardware con la APP, en el menú de esta se presiona sobre conectar con dispositivo hasta que aparezca en verde el botón IOIO, como se muestra en la figura 17, si aparece en rojo como en la figura. 18 se debe de volver hacer el proceso hasta tener el resultado deseado.



Figura 17 App sin conexión bluetooth

Fuente: Elaboración propia



Figura 18 App con conexión bluetooth

Fuente: Elaboración propia

Una vez que tenemos una conexión normal, podemos empezar con el registro, simplemente presionamos sobre iniciar detección y automáticamente cambiará a leyendo datos, pidiéndonos que insertemos la prueba sobre el sensor.



Figura 19 Registro de anemia negativo

Fuente: Elaboración propia



Figura 20 Registro de anemia positivo

Fuente: Elaboración propia

Si la prueba es positiva entonces mostrará en pantalla “Registro de anemia positivo” si es negativo entonces mostrará “Registro de anemia negativo” Figura 19 y 20.

Agradecimiento

El presente trabajo de investigación fue desarrollado con el apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, en el departamento de ingeniería en sistemas computacionales con el cuerpo de investigación Sistemas de información para administrar procesos bajo la LGCA Domótica y Robótica

Conclusiones

Con base en los cálculos obtenidos en el sensor, se determinó que para el registro de colores de una anemia positiva a otra negativa basada en color, los cuales son obtenidos por medio de análisis clínicos y registrados en color, es decir una anemia positiva tiene un color de registro naranja y una negativa un color morado, con base en estos colores y el sensor de color se registró un voltaje de 0.75 v para color positivo mientras que para un resultado negativo el sensor entrega un voltaje de 0.5v basado en el convertidor de señal de voltaje o corriente (ADO) de la placa IOIO OTG es a 10bits ya que se trabaja con 3,3 V, registrando los datos en una APP instalada en un dispositivo android.

La tabla 1 muestra la relación de 30 pruebas distintas con diversos pacientes, sin embargo la detección y registro de los estados de anemia esta ligada directamente a la efectividad de las tiras reactivas y su uso sin errores gruesos.

La colocación de la tira reactiva para su detección también juega un papel importante, por lo que fue necesario imprimir en 3D un gabinete para mantener la distancia entre el sensor y la tira reactiva a 3 milímetros de acuerdo a la hoja de datos del CNY70.

Referencias

- [1] María Paulal Hernández et al, “*Prevención, diagnóstico y tratamiento de la anemia por deficiencia de Hierro en Niños y adultos*”, Consejo de salubridad general, IMSS, ISSTE, 2010
- [2] José Carlos Jaime Pérez, Dr. David Gómez Almaguer, “*Hematología La sangre y sus enfermedades.*” Delegación Álvaro Obregón, C.P. 01376, México, D.F: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. De C.V, 2009
- [3] Julio Hernández Moreno, “*Anemia todas las respuestas*”. Editorial Océano AMbar, Ciudad de México, D.F, 2012
- [4] National Heart, Lung, and blood institute. , “*What Is Anemia?* “, Department of Health and Human Services, 2015
- [5] EKF, “*Diagnostics for life.*”, Hemo Control Hemoglobin Analyzer. 2017,
- [6] Laura Tardón, “*Un móvil para diagnosticar anemia*”, Journal of Materials Chemistry Sitio, 2016
- [7] Angela Bernardo, “*Test para detectar la anemia basado en la impresión 3D*”, Yale University, 2015
- [8] OrSense “*Sensor no invasivo de hemoglobina ayuda en detección de anemia*”. Equipo editorial de HospiMedica, 2012.
- [9] Ramón Pallás Areny, “*Sensores acondicionadores de señal*”. Editorial Marcombo, México D.F., 2012
- [10] Antonio Creus, “*Instrumentación industrial*”, Editorial Marcombo, S.A., Barcelona, España: Alfaomega Grupo Editor, 2012
- [11] Mercedes Granda Miguel Elena Mediavilla Bolado, “*Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal.*” Textos Universitarios Cantabria, España, 2010.
- [12] CNYT70, Reflective Optical Sensor with Transistor Output, VISHAY Semiconductors
- [13] LM358, Reflective Optical Sensor with Transistor Output, VISHAY Semiconductors
- [14] Monk S., “*Making Android Accessories with IOIO: going mobile with sensors, and robots*”, Editorial O’reilly, 1ra edición, 2012.
- [15] Milette Greg, “*Professional Android Sensor Programming*”, Editorial wroc, 2010.
- [16] Tomas Girones, “*El gran libro de Android*”, Editorial Alfa Omega, 2011

Análisis y simulación de cargas de viento en un concentrador solar de canal parabólico mediante la aplicación de software

AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge†*, GARCÍA-DOMÍNGUEZ, Jairo, RAMÍREZ-ROJO, Alexis y DE JESÚS-VEGA, César Omar

División de Ingeniería en Energías Renovables Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Conocido S/N El Saucillo, Huichapan, Hgo., Méx. 42411

Recibido 6 de Octubre, 2017; Aceptado 5 de Diciembre, 2017

Resumen

La aplicación de software de dinámica de fluidos computacionales (CFD) permite realizar simulaciones para calcular las fuerzas e impactos que provocan los fluidos en cualquier elemento, eliminando la complejidad del análisis de flujo y reduciendo la creación de prototipos para pruebas, ya que en ocasiones este proceso suele ser lento y costoso. El objetivo del presente trabajo es analizar y simular cargas de viento en un concentrador solar de canal parabólico (CCP) mediante el uso de dinámica de fluidos computacionales, utilizando el software Solidworks Flow Simulation para determinar las cargas provocadas en el dispositivo por éstas ráfagas. Se realizó la medición de la velocidad del viento en una ubicación geográfica específica, obteniendo valores que oscilan entre 0.2 km/hr y 47 km/hr. Se llevó a cabo el análisis considerando la velocidad máxima originada en esa zona, la cual alcanzó un valor de 47 km/h. Las simulaciones desarrolladas en el software indicaron las trayectorias de flujo del viento normales al área de apertura del CCP, así como las cargas de presión ocasionadas por éstas ráfagas en la superficie del colector.

Concentrador solar de canal parabólico, dinámica de fluidos computacionales, elemento finito, energía solar, velocidad del viento

Abstract

The computational fluid dynamics (CFD) software application allows simulations to calculate the forces and impacts caused by fluids on any element, eliminating the complexity of the flow analysis and reducing the creation of prototypes for testing. Process is often slow and costly. The objective of the present work is to analyze and simulate wind loads in a parabolic trough solar collector (PTC) by using computational fluid dynamics, using Solidworks Flow Simulation software to determine the loads caused in the device by these bursts. The wind velocity was measured in a specific geographical location, obtaining values ranging from 0.2 km/hr to 47 km/hr. The analysis was carried out considering the maximum speed originated in that zone, which raised a value of 47 km/h. The simulations developed in the software indicated the normal wind flow paths to the PTC opening area, as well as the pressure loads caused by these bursts at the collector surface.

Parabolic trough solar collector, computational fluid dynamics, finite element, solar energy, wind speed

Citación: AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge, GARCÍA-DOMÍNGUEZ, Jairo, RAMÍREZ-ROJO, Alexis y DE JESÚS-VEGA, César Omar. Análisis y simulación de cargas de viento en un concentrador solar de canal parabólico mediante la aplicación de software. Revista de Energías Renovables 2017. 1-3:34-42

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jazuara@iteshu.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La utilización de software para realizar simulaciones numéricas es una alternativa importante para simular y evaluar dispositivos de concentración en condiciones de funcionamiento semejantes a la realidad.

Lizardi *et al.* (2016) mencionan que las expresiones matemáticas que describen el comportamiento dinámico del flujo parten de las ecuaciones de Navier- Stokes, en las cuales la no linealidad y el acoplamiento de sus términos hacen que sus soluciones sean complejas, por lo que la simulación numérica ha sido desarrollada ampliamente al paso del tiempo.

Los trabajos desarrollados implementan variedad de software de dinámica de fluidos computacionales (CFD) para determinar las cargas de viento en concentradores de canal parabólico. La consideración de variables climáticas, configuración, orientación y materiales de construcción son parámetros importantes en este tipo de análisis. La CFD es una herramienta valiosa para evaluar el comportamiento de CCPs, reduciendo tiempos, costos y modificaciones de geometría en el análisis. Paetzold *et al.* (2015) afirman que en plantas de concentración de energía solar que están ubicadas en áreas abiertas los CCPs son afectados por el viento tanto a nivel estructural como en rendimiento, teniendo que resistir las fuerzas aerodinámicas causadas por las corrientes de aire. Un CCP consiste en un espejo cilindro-parabólico que refleja la radiación solar directa, concentrándola sobre un tubo receptor, situado sobre la línea focal de la parábola (Duffie y Beckman, 2013).

Las condiciones reales de trabajo de un CCP están relacionadas con las cargas de viento sobre la estructura en términos de resistencia mecánica, un análisis de flujo de viento desempeña un papel importante para su diseño, que puede conducir a una mejor comprensión de la carga aerodinámica alrededor del reflector parabólico. (Hachicha *et al.*, 2014) Zhao *et al.* (2017) utilizaron el software CFD Fluent para simular un concentrador de canal parabólico usando como referencia la presión del viento a una altura de 10 m. Mediante el modelo de mezcla de FLUENT y el método de tiempo de Reynolds simularon la distribución de los coeficientes de presión del viento. Considerando un ángulo de dirección del viento constante y un campo de flujo simétrico obtuvieron resultados que predicen el comportamiento en diferentes ángulos a sotavento y barlovento, así como la variación del aumento de la resistencia y el coeficiente de presión del viento en la simulación. Andre *et al.* (2015) estimaron cargas de viento en colectores solares de canal parabólico mediante métodos de Boltzmann y ecuaciones de Navier-Stokes de Modelado de Elemento Finito (FEM), simulando grandes remolinos y variando la posición de la estructura así como el ángulo de inclinación o paso (pitch angle) del CCP. Los resultados señalan la importancia de variar la velocidad a la entrada y la modificación de éste ángulo en el concentrador. Mier *et al.* (2014) sometieron un CCP a un túnel de viento virtual mediante un estudio de CFD analizando diferentes ángulos de inclinación (-30° , 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° y 210°), Ver Figura 1.



Figura 1 Ángulos de inclinación del CCP simulados

Fuente: (Mier *et al.*, 2014)

Los resultados de la comparación de los valores medios cuadráticos (RMS) obtenidos en la simulación CFD con los obtenidos experimentalmente demuestran que existe una diferencia menor al 10% en las cargas de viento en ambos análisis. Christian y Ho (2010) modelaron y simularon un colector cilíndrico parabólico utilizando SolidWorks Simulation en posiciones con ángulos de inclinación de 0° y 90° , para determinar el impacto de las cargas de gravedad en la estructura de soporte y desplazamientos de las facetas de los espejos. Los errores de pendiente de las superficies reflectantes de la cara del espejo se encontraron evaluando desplazamientos angulares de segmentos conectados a los nodos a lo largo de la superficie reflectora. La comparación entre los errores de pendiente de la superficie deformada y no deformada del espejo fue de 2 mrad. Paetzold *et al.* (2015) presentaron en su trabajo un análisis de un CCP mediante el paquete de CFD, ANSYS CFX 15.0, variando la longitud focal de la parábola de tres diferentes geometrías de canal. Los resultados indican que una reducción de la longitud focal crea un aumento en las fuerzas aerodinámicas del canal parabólico, sin embargo se reducen las pérdidas térmicas creando un efecto protector sobre el tubo receptor debido a la convección forzada. Las fuerzas más elevadas se observan a 0° de ángulo de incidencia del viento y ángulos de inclinación positivos mayores de 15° , cuando el lado cóncavo de los colectores hace frente al viento. Bootello *et al.* (2016) propusieron dos tipos de captadores paramétricos simétricos (PmTC) con receptores evacuados circulares compuestos, integrados con un concentrador secundario para reducir cargas de viento.

Compararon mediante CFD ambos colectores con dos CCP comerciales a diferentes ángulos de inclinación en simulaciones 2D y 3D sin contemplar la intensidad de turbulencia del viento. Calcularon campos de velocidades, coeficientes de elevación, momentos, patrones de flujo y valores medios de resistencia aerodinámica. El concentrador PmTC con amortiguador plano muestra el peor desempeño en términos de arrastre y momento con más de 25% de penalización. Identificaron que el estudio de caso 2D muestra peores coeficientes cuando se compara con la simulación 3D. Zou *et al.* (2015) sometieron a un CCP compuesto por 96 pequeños espejos a experimentos en un túnel de viento de capa límite con baja velocidad (0.5 a 20 m/s), ubicado en la Universidad de Hunan. El área de análisis era de 3m con altura de 2.5m. Estudiaron la distribución media del coeficiente y los espectros de potencia de la presión fluctuante del viento. A medida que aumentaba el ángulo de inclinación del colector y el ángulo de incidencia del viento el coeficiente de presión máxima (altas presiones) se movía al borde de la superficie del espejo cuando el ángulo de inclinación es de 90° . Fu *et al.* (2015) desarrollaron un modelo geométrico de un CCP en el software Solidworks y le simularon cargas de viento en el software ANSYS CFX Workbench con dimensión de campo de fluido de 20 m y a una velocidad de 13.8 m/s. Los resultados de la simulación demuestran que la deformación máxima de los espejos reflectantes se reduce alrededor del 4.6% y que el peso del colector se reduce 5.8% con respecto al modelo inicial. Optimizaron la caja de torsión y la viga en voladizo reduciendo la tensión máxima alrededor de un 15.4%. Zemler *et al.* (2013) simulon numéricamente flujo turbulento bidimensional en CCPs mediante ANSYS CFX 13.0 a velocidades de entre 8.9 m/s y 49.2 m/s.

Aplicaron varios tamaños de malla para determinar la fuerza del viento sobre las estructuras. Realizaron una comprobación para validar el modelo numérico comparando la fuerza de arrastre teórica para dos geometrías similares, el porcentaje máximo de diferencia entre las dos geometrías fue del 15%.

El objetivo del presente trabajo es analizar y simular cargas de viento en un CCP para verificar su comportamiento aerodinámico mediante software de dinámica de fluidos computacionales.

Los resultados conseguidos del comportamiento del flujo del viento en el dispositivo son importantes para definir parámetros de diseño en concentradores solares de canal parabólico.

Diseño del concentrador de canal parabólico

Se realizó el diseño del CCP con una distancia focal de 0.305 m, y se utilizó como parámetro de entrada un ángulo de borde (ϕ) de 90° . El ángulo de borde es el ángulo formado por el radio máximo del concentrador parabólico r_r , con la línea central del colector, ver Figura 2.

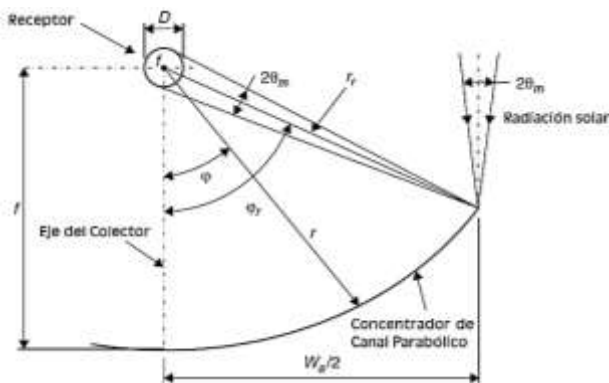


Figura 2 Sección transversal de un Concentrador de Canal Parabólico

Fuente: (Kalogirou, 2009)

Algunas características importantes que se consideraron para el modelado del CCP en SolidWorks se muestran en la Tabla 1:

Base estructural	Perfil tubular rectangular (0.0381 m)
Concentrador (Reflector)	Lámina de aluminio de alta reflectividad (95%)
Tubo Receptor	Tubo de acero inoxidable (0.032 m) y tubo de vidrio evacuado (0.08 m)
Área de apertura	4 m ²
Longitud	4 m

Tabla 1 Características para el modelado del CCP en el software

Fuente: Elaboración propia

Recopilación de velocidades del viento de la zona

Se obtuvo la base de datos de velocidades máximas del viento de la estación meteorológica perteneciente a la Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas Automatizadas del Instituto Nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (INIFAP), ubicada en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Figura 3.



Figura 3 Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

Fuente: Google Maps, 2016.

Para conocer la dirección predominante del viento en la zona se utilizó la aplicación Windnavigator, ingresando como parámetro de entrada las coordenadas geográficas del lugar, 20.31869° latitud Norte y 99.70816° de longitud Oeste, así como la altura mínima de 10 m para el análisis.

Dinámica de fluidos computacionales

Considerando las características y materiales del CCP, así como la velocidad y dirección del viento, se configuró el análisis transitorio externo de CFD en el software Solidworks Flow Simulation 2016. Se utilizó el Sistema Internacional de unidades, con las unidades básicas: metro, kilogramo y segundo, aplicando también la característica física de gravedad (-9.81 m/s^2), se excluyeron cavidades sin condiciones de flujo, eligiendo al aire como fluido del proyecto con característica de flujo turbulento en el CCP.

Se aplicaron condiciones de la zona: presión de una atmósfera, temperatura promedio de 16°C y una velocidad máxima de 47 km/h.

Para obtener un análisis representativo del modelo se creó un dominio computacional 3D de 12m x 12m x 6m, como se observa en la Figura 4.

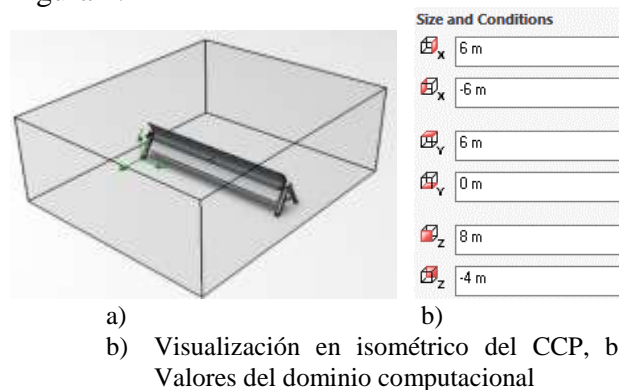


Figura 4 Isométrico del CCP en el dominio computacional

Fuente: Elaboración propia

El flujo del viento se simuló alrededor del modelo tridimensional en dirección perpendicular al área de abertura del colector, posicionando al CCP con un ángulo de inclinación de 0° , Figura 5.

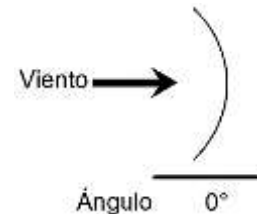


Figura 5 Ángulo de inclinación del CCP

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Considerando los parámetros de diseño de la tabla 1, se realizó el modelado 3D del concentrador en el software Solidworks 2016, con una abertura de canal (W_a) de 1 m, una longitud de 4 m y un ángulo de borde de 90° . Mentado *et al.* (2016), analizaron el efecto del ángulo de borde en concentradores de canal parabólico, utilizaron el software Soltrace para evaluar éste parámetro en un CCP y determinaron que con un valor de $\phi = 90^\circ$ se obtiene un mejor desempeño óptico.

Se editó la configuración de materiales, aplicándolos a cada elemento del CCP: acero inoxidable, acero ASTM A36, aluminio pulido y vidrio, Figura 6.

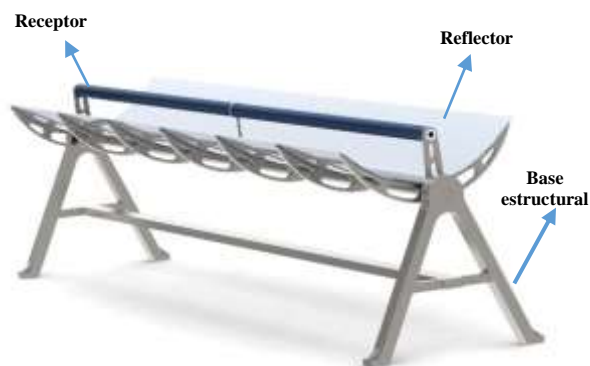


Figura 6 Modelado en 3D del CCP

Fuente: Elaboración propia

Se generó un historial de velocidades máximas del viento de los dos últimos años (2015 y 2016) en El Saucillo, Huichapan, la máxima registrada se produjo en el mes de agosto de 2015 con un valor de aproximadamente 47 km/h (INIFAP, 2016), la cual se utilizará para la simulación del CCP, Gráfico 1.

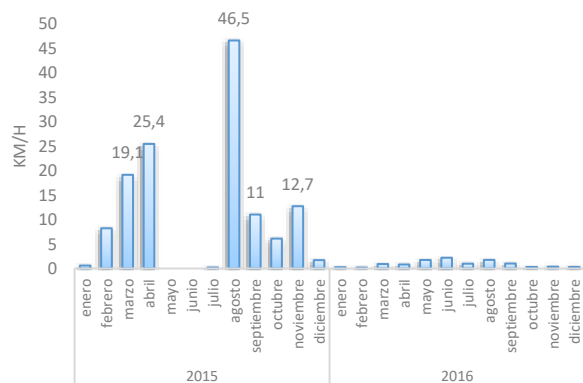


Gráfico 1 Historial de velocidades máximas del viento en El Saucillo, Huichapan. Hgo.

Fuente: Elaboración propia

De la aplicación Windnavigator se consiguieron datos característicos del lugar, como la elevación: 2168.8 m y densidad del aire: 0.947 kg/m^3 .

El informe del sitio permitió obtener la rosa de vientos dividida en 16 sectores, mostrando las direcciones predominantes del viento ENE (Este-Noreste) comprendidos desde 56.25° hasta 78.75° para orientar el CCP, Figura 7.

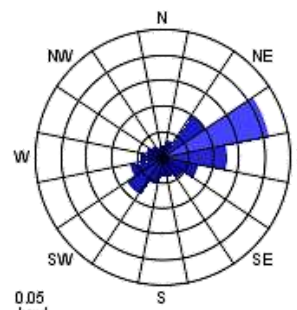


Figura 7 Rosa de vientos en El Saucillo, Huichapan, Hgo.

Fuente: AWS TRUEPOWER, Windnavigator. Recuperado el 06 de febrero de 2017 de: <https://dashboards.awstruepower.com/wsa>

Utilizando la configuración de la simulación, la posición del CCP y la velocidad del viento como parámetro de entrada, fue posible resolver el modelado numérico mediante CFD de Flow Simulation.

Se realizó la discretización considerando la configuración del CCP, se definió la malla como se muestra en la figura 8.

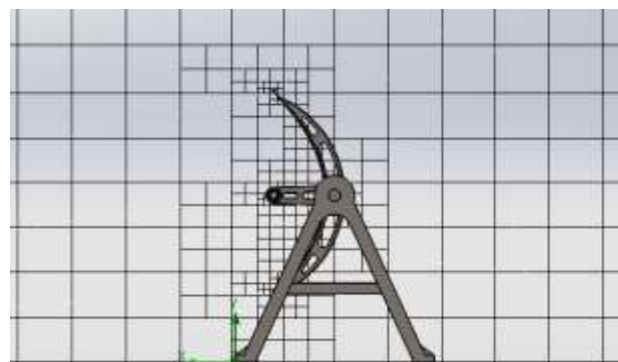


Figura 8 Creación de la malla para la solución numérica

Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 se muestran los vectores de flujo del viento alrededor del CCP al ejecutar la simulación.

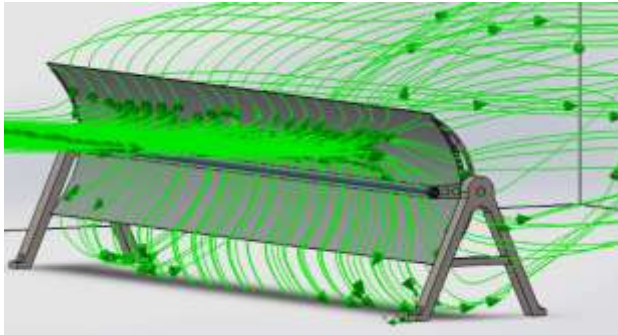


Figura 9 Simulación del fluido alrededor del CCP

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se visualiza la distribución del viento en el concentrador mediante vectores dirigidos.

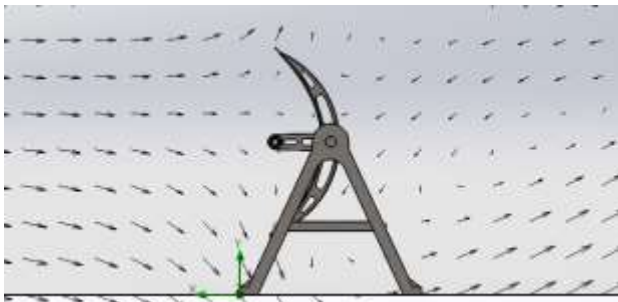


Figura 10 Distribución de velocidad en el CCP

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis de los puntos de mayor presión en el CCP, Figura 11. La ubicación de las cinco mayores presiones se muestra en la tabla 2.



Figura 11 Ubicación de puntos de mayor presión en el CCP

Fuente: Elaboración propia

X (m)	Y (m)	Z (m)	Presión (Pa)
-0.451	0.913	1.773	101416.68
-0.451	0.916	1.212	101415.69
-0.455	0.880	3.730	101416.65
-0.455	0.874	3.169	101417.26

Tabla 2 Ubicación y valores de mayor presión en el CCP

Fuente: Elaboración propia

El valor de la fuerza que se encontró en la simulación fue de 422.23 N y la presión promedio de 101.409 kPa, Figura 12.

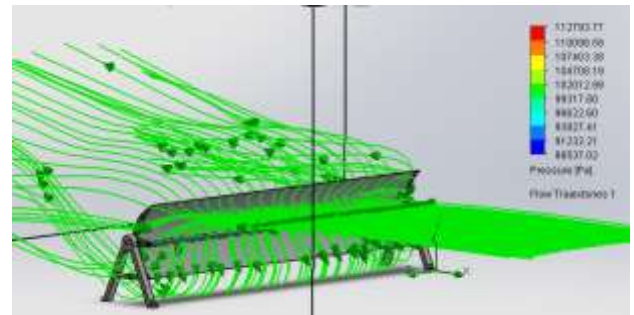


Figura 12 Niveles de presión en la superficie reflectora

Fuente: Elaboración propia

Discusión

De acuerdo con la figura 10 y 11, la distribución del viento se disipa a la entrada del CCP generando cargas de viento en la superficie de la lámina reflectora, incidiendo al concentrador a una velocidad de análisis máxima.

En la figura 11 se visualizan las presiones a las que se somete el concentrador debido a las cargas y velocidades del viento simuladas. La visualización y análisis de lo que ocurre en la superficie reflectora del concentrador puede ser útil para establecer si la estructura del dispositivo soporta estas cargas, considerando realizar este análisis en futuros trabajos y optimizar así el diseño.

Para la simulación se consideraron parámetros computacionales de entrada que son importantes en el análisis, Bendjebbas *et al.* (2016), mencionan que CFD es una herramienta poderosa para simular las condiciones de viento, lo que lo hace una herramienta accesible que considera la mayor parte de variables computacionales en un corto tiempo, comparado con el método experimental de túnel de viento que tarda días o semanas en el mismo análisis.

Conclusiones

Los resultados de éste trabajo muestran cómo se comporta y distribuye el viento en el concentrador de canal parabólico considerando los materiales de cada elemento, así como su orientación e inclinación, utilizando una herramienta computacional que minimiza el esfuerzo y los costos de análisis en una prueba experimental de túnel de viento.

La simulación mediante dinámica de fluidos computacionales permitió identificar las cargas de viento a las que se somete el concentrador, logrando soportar una carga de presión máxima originada por el viento de 101.523 kPa y una fuerza normal al plano del reflector de 422.236 N.

Los datos obtenidos permiten ser utilizados en futuros trabajos donde se considere la variación de los ángulos de inclinación del concentrador, así como los ángulos de incidencia del viento. Se considerará en investigaciones posteriores el análisis estructural mediante análisis por elementos finitos (FEA) utilizando los resultados del CFD para calcular los desplazamientos, deformaciones y tensiones de los componentes para validar el diseño del CCP y definir si el dispositivo soporta las cargas provocadas por el viento.

Cabe señalar que en este trabajo se simuló un CCP aislado, en aplicaciones prácticas los concentradores se encuentran en filas y grupos por lo que también debe contemplarse.

Referencias

- Andre, M., Mier-Torrecilla, M., & Wüchner, R. (2015). Numerical simulation of wind loads on a parabolic trough solar collector using lattice Boltzmann and finite element methods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 146, 185-194.
- Bendjebbas, H., Abdellah-ElHadj, A., & Abbas, M. (2016). Full-scale, wind tunnel and CFD analysis methods of wind loads on heliostats: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 54, 452-472.

- Bootello, J. P. N., Mier-Torrecilla, M., Doblare, M., & Pérez, M. S. (2016). Aerodynamics of new solar parametric troughs: Two dimensional and three dimensional single module numerical analysis. *Solar Energy, Vol. 135*, 742-749
- Christian, J. M., & Ho, C. K. (2010). Finite element modeling of concentrating solar collectors for evaluation of gravity loads, bending, and optical characterization. *ASME, Paper No. ES2010-90050*.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.
- Fu, W., Yang, M. C., Zhu, Y. Z., & Yang, L. (2015). The wind-structure interaction analysis and optimization of parabolic trough collector. *Energy Procedia, Vol. 69*, 77-83.
- Hachicha, A. A., Rodríguez, I., Lehmkuhl, O., & Oliva, A. (2014). On the CFD&HT of the flow around a parabolic trough solar collector under real working conditions. *Energy Procedia, Vol. 49*, 1379-1390.
- INIFAP. (2016). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de: <http://clima.inifap.gob.mx/Inmysr/Estaciones/ConsultaDiarios15Min?Estado=13&Estacion=10099> Consulta: 10 de enero de 2016.
- Kalogirou, S. (2009). "Solar Energy Engineering", Cyprus Univ. Of Technology. Hardbound.
- Lizardi, A., López, R., Terres, H., & Morales, J. (2016). Análisis numérico del flujo asimétrico variando la posición axial del impulsor. *Revista de aplicaciones de ingeniería, Vol. 3*, 59-71.
- Mentado, D., Elizalde, S., Jiménez, D., & Azuara, J. (2016). Simulación de un Concentrador Solar de Canal Parabólico mediante el Software SolTrace. *Revista de Prototipos Tecnológicos, Vol. 6*, 68.
- Mier-Torrecilla, M., Herrera, E., & Doblare, M. (2014). Numerical calculation of wind loads over solar collectors. *Energy Procedia, Vol. 49*, 163-173.
- Paetzold, J., Cochard, S., Fletcher, D. F., & Vassallo, A. (2015). Wind engineering analysis of parabolic trough collectors to optimise wind loads and heat loss. *Energy Procedia, Vol. 69*, 168-177.
- Zemler, M. K., Bohl, G., Rios, O., & Boetcher, S. K. (2013). Numerical study of wind forces on parabolic solar collectors. *Renewable energy, Vol. 60*, 498-505
- Zhao, M., Zhang, X., Zhang, X., Zou, L., & Kang, X. (2017). Numerical Simulation of Wind Pressure Coefficient and Distribution Trend of the Dust Concentration for Parabolic Trough Solar Collector. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 63*, No. (1), p. 012009. IOP Publishing.
- Zou, Q., Li, Z., Wu, H., Kuang, R., & Hui, Y. (2015). Wind pressure distribution on trough concentrator and fluctuating wind pressure characteristics. *Solar Energy, Vol. 120*, 464-478.

Simplificación de modelo de secador de carne de res

ROMERO-PÉREZ, Claudia†, MARTÍN-DOMÍNGUEZ, Ignacio y VENEGAS-REYES, Eduardo

Departamento de Tecnología Sustentable, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.

Recibido 16 de Octubre, 2017; Aceptado 15 de Diciembre, 2017

Resumen

Entre los métodos de conservación de alimentos se encuentra el secado o deshidratación. Existen diversos modelos matemáticos para describir el secado de acuerdo a la geometría del secador y al producto a deshidratar. En este trabajo se presenta una simplificación de un modelo para secador tipo batch, en el que se puede simular el tiempo secado de varios alimentos, entre ellos la carne de res. El modelo es escrito en EES, y las características climáticas se procesan en TRNSYS. La simulación del secado se llevó a cabo dentro del concepto de evaporación de la humedad contenida en la carne. Se realizó una simulación a temperatura ambiente y otra simulación usando la temperatura promedio de 65 °C. La velocidad del aire es constante mientras que la humedad del aire y la temperatura ambiental son transitorias. La información del clima de este estudio corresponde a la ciudad de Chihuahua, México.

Secado, solar, simulación, TRNSYS

Abstract

Among the methods of preserving food is drying or dehydration. There are several mathematical models to describe the drying according to the geometry of the dryer and the product to be dehydrated. In this paper we present a simplification of a model for batch dryer, in which the drying time of several foods, including beef, can be simulated. The model is written in EES, and the climatic characteristics are processed in TRNSYS. The simulation of the drying was carried out within the concept of evaporation of the moisture contained in the meat. A simulation was performed at room temperature and another simulation using the average temperature of 65 °C. The air velocity is constant while the air humidity and the ambient temperature are transient. The climate information for this study corresponds to the city of Chihuahua, Mexico.

Drying, solar, simulation, TRNSYS

Citación: ROMERO-PÉREZ, Claudia, MARTÍN-DOMÍNGUEZ, Ignacio y VENEGAS-REYES, Eduardo. Simplificación de modelo de secador de carne de res. Revista de Energías Renovables 2017. 1-3:43-50

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El secado ha sido utilizado por la humanidad principalmente para la preservación de alimentos. Se sabe que el secado con aire caliente tiene altos costos de producción debido a que requiere consumo de gas o electricidad para su producción, ambos recursos no renovables. **Este trabajo es parte de** una propuesta para reducir el consumo de energía no renovable y consiste en diseñar un sistema de secado de **carne de res** asistido con energía solar térmica. Este sistema es diseñado e integrado en TRNSYS (Transient Simulation System Tool). Sin embargo, dentro del modelo matemático para el secado de la carne de res encontramos con ecuaciones de isoterma de sorción de humedad del alimento. Muchos de estos coeficientes se encuentran publicados para muchos alimentos como frijol, maíz, harinas, hierbas, etc. Pero desafortunadamente para la carne de res no están disponibles. Es por esta razón que en este trabajo se presenta una simplificación del modelo matemático de secado en secador tipo batch. El modelo es escrito en EES (Engineering Equation Solver) y es útil no solo para describir el secado de la carne de res sino también otros alimentos.

Otros autores como (Fuller, Lhendup, & Aye, 2005) ya habían comentado la carencia de los coeficientes necesarios para la ecuación de sorción de la carne. Por lo que la mayoría de los trabajos que se encuentran sobre este alimento son investigaciones experimentales en las que describen la curva de secado del alimento.

Temática General de la Carne de Res

La carne tiene una composición química bastante compleja y variable en función de un gran número de factores tanto extrínsecos como intrínsecos.

Por su composición la carne es considerada como un medio ideal para el crecimiento de muchos microorganismos, por lo que es clasificada entre los alimentos altamente perecederos (Gerard, 1991). El principio de conservación radica en que los microorganismos que causan el deterioro no pueden crecer ni multiplicarse en ausencia de agua (Belessiotis & Delyannis, 2011).

Carne de res	Contenido de agua % masa	Densidad kg/m ³	Conductividad Térmica W/m °C	Difusividad m ² /s	Calor Especifico kJ/kg °C
magra	74	1090	0.471	0.13X10 ⁻⁶	3.54

Tabla 3 Propiedades de la carne de res

Fuente: Termodinámica, Cengel 4ª Edición, 2003

Requerimientos para el secado de carne de res

La carne que comúnmente se usa para el secado es la carne de res conocida como pulpa negra. Esta es secada a una temperatura entre 60 °C y 70 °C (Almada, Cáceres, Machaín-Singer, & Pulfer, 2005) con una velocidad de aire que varía desde la convección natural, hasta unos 5 m/s. Sin embargo, para este trabajo utilizaremos 0.1 m/s ya que, debido a la temperatura, el secador funciona como horno, evaporando de manera eficiente la humedad, y desechando el aire húmedo por el flujo de aire.

Propiedades del aire

Los procesos de secado dependen en gran medida a los cambios que se producen en las propiedades del agente desecante, generalmente aire húmedo (mezcla de aire seco más vapor de agua). El uso de aire precalentado trae como resultado, la optimización en un proceso de secado, ya que el aumento de la temperatura mejora la capacidad de arrastre de humedad.

El producto a secar cede humedad al aire, por lo que desciende la temperatura de ambos hasta que alcanza el equilibrio correspondiente a la saturación adiabática y la humedad relativa alcanza el valor de 100 %. Conseguido este límite es posible extraer más agua del producto. Además, el aporte energético directo aumenta la temperatura, lo que mejora la capacidad desecante del aire. Este sistema combinado con lo anterior, es el sistema más habitual de secado (convección forzada y aporte de energía calorífica). La convección forzada se obtiene de un abanico que alimenta un flujo másico de aire proveniente del ambiente.

Localización geográfica

El sistema de secado se simula para las condiciones climáticas de la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, México. Esta localización presenta una combinación de factores geográficos, como su topografía, altitud y latitud que provocan condiciones climáticas severas en el invierno con temperaturas que van desde los $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ por la noche, hasta los $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el día. Estas condiciones se deben en gran parte a la altitud sobre el nivel del mar y a la baja humedad del aire. La humedad tiende a atrapar la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, por lo tanto en ausencia de humedad, esta radiación tiende a perderse hacia la atmósfera, enfriándose tanto la superficie como el aire del medio circundante (Martin, 2004).

Modelo de Evaporación de Agua

En la cámara de secado se pretende secar la mayor cantidad de agua posible en la carne. El proceso más sencillo para evaporar agua está basado en la saturación adiabática. Este proceso es utilizado en sistemas de enfriamiento evaporativo convencionales. (Tang & Etzion, 2004)

Menciona las diversas expresiones experimentales y teóricas para predecir la tasa de evaporación de agua libre en las superficies hacia el ambiente. Algunas de esas expresiones incluyen no solo los efectos de la corriente del aire sobre la superficie mojada, sino también la diferencia de la temperatura entre la superficie mojada y la temperatura del aire.

La evaporación del agua que se encuentra en la superficie de la carne, depende de la temperatura del agua de la carne, temperatura del aire, humedad actual del aire y la velocidad con la que pasa el aire sobre la superficie de la carne.

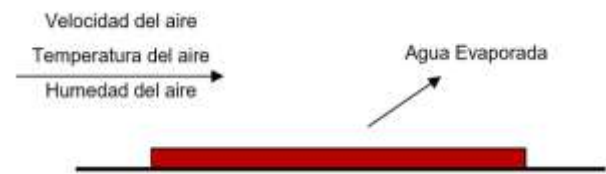


Figura 1 Evaporación de agua

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener la cantidad de agua evaporada se usó la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \theta * A_{\text{superficie}} * (H_s - H_1) \quad (1)$$

Termodinámica, Cengel 4ª Edición, 2003

Donde θ es un coeficiente de evaporación [$\text{kg}_{\text{agua}} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$], $A_{\text{superficie}}$ es el área superficial de la carne [m^2], T es temperatura [$^{\circ}\text{C}$], H_s humedad absoluta en aire saturado a la misma temperatura que el agua de la superficie [$\text{kg}_{\text{agua}} / \text{kg}_{\text{aire}}$] y H_1 humedad absoluta del aire de entrada

$$[\text{kg}_{\text{agua}} / \text{kg}_{\text{aire}}]. \quad (2)$$

$$\theta = (25 + 19 * v)$$

Termodinámica, Cengel 4ª Edición, 2003

Donde v es la velocidad del aire [m/s] para obtener el coeficiente evaporativo.

$$H_s = (0.62198 * P_{ws} P) / (P - P_{ws})$$

Termodinámica, Cengel 4ª Edición, 2003

(3)

Donde, P_{ws} es la presión de vapor de saturación [kPa] y P presión atmosférica del aire húmedo [kPa] para obtener la humedad absoluta en el aire saturado.

La máxima cantidad de vapor de agua que puede contener el aire es alcanzada cuando $P_w = P_{ws}$ Establecidas las dimensiones, es posible obtener las áreas. El secador consta de una cámara de secado con charolas tipo estantería y se considera una cámara adiabática a la que le entra un flujo de aire caliente paralelo a las charolas.

El flujo másico del aire (\dot{m}_a) es calculado por medio de su densidad (ρ_a), la velocidad del viento (v) y el área transversal libre (A_t) de la cámara de secado Figura 2 y Figura 3.

$$\dot{m}_a = \rho_a * v * A_t \lambda$$

Termodinámica, Cengel 4ª Edición, 2003

(4)

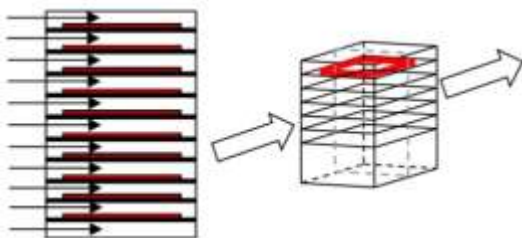


Figura 2 Flujo de aire paralelo a las charolas

Fuente: Elaboracion propia.

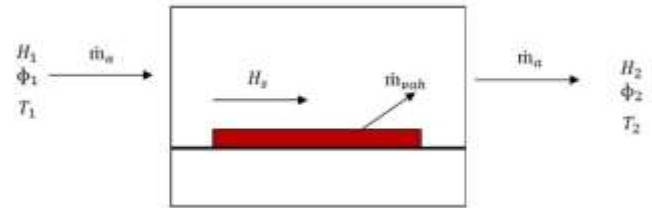


Figura 3 Arrastre de humedad evaporada

Fuente: Elaboracion propia.

Metodología a desarrollar

Con ayuda de EES se elabora un algoritmo con el modelo de evaporación de agua de la superficie de la carne. Este modelo representa la transferencia de masa y energía que ocurren dentro de la cámara de secado. Los valores de entrada son la temperatura de bulbo seco y húmedo, la humedad del aire y la densidad del aire, estos provenientes del módulo de clima de TRNSYS usando un TMY de Chihuahua.

EES Engineering Equation Solver es un programa comercial que usa un sistema de soluciones de ecuaciones no lineales simultáneas. Este es muy útil en aplicaciones de Termodinámica y Transferencia de calor.

TRNSYS 16 es un programa de simulación dinámica de sistemas del campo de ingeniería y de las energías renovables, que ayuda a optimizar la eficiencia tanto térmica como económica de diferentes sistemas. En él, es posible conectar entre si los modelos de los componentes y obtener el comportamiento del sistema completo de manera transitoria.

En este trabajo se realizaron 2 corridas de la simulación del sistema, una usando temperatura ambiente y otra a una temperatura de 65 °C con el fin de comparar los tiempos de secado variando únicamente la temperatura en el proceso y manteniendo la velocidad del aire a una temperatura constante.

Resultados

La información de temperatura ambiente, humedad relativa, humedad absoluta y densidad del aire son obtenidos de TRNSYS. Estos corresponden a información de clima de Chihuahua durante el día 1 y 2 de enero de un año típico con pasos de tiempo de 15 minutos. Sin embargo, estas mismas corridas realizadas en otra estación del año, proporcionarían diferentes tiempos de secado. El contenido de humedad inicial en el producto es de 74 % y debido a que al final conserva un 10 % de humedad, esta se descuenta de la cantidad de masa de agua que se evaporará.

La corrida 1, donde se usa la velocidad del aire constante a 0.1 m/s, mientras que la humedad del aire y la temperatura ambiental son transitorias. En esta corrida se calcula el tiempo de secado usando la temperatura ambiente del aire, dando como resultado un tiempo de 37 horas.

En la Gráfica 1, podemos distinguir las temperaturas (°C) del aire a la entrada y salida del secador en color rojo y rosa respectivamente. La temperatura del aire ambiente en color rojo describe el cambio de la temperatura a lo largo de dos días, con sus altas y bajas en el día y la noche. En color rosa se muestra que la temperatura del aire a la salida del secador es más baja debido al enfriamiento evaporativo que sufre el aire una vez que gana humedad. Estas temperaturas se igualan una vez que no hay más humedad que retirar. Las humedades absolutas (kg de agua/kg de aire seco) del aire de entrada y salida se muestran en color naranja y verde respectivamente. La humedad de entrada es muy baja, sin embargo, después de pasar por el secador el aire, ésta adquiere la humedad que se evapora por lo que aumenta como se observa en color verde.

Se puede apreciar que durante las horas de sol en las cuales existe mayor temperatura ambiente, son las horas que tienen más arrastre de humedad debido a la influencia de la temperatura, como se explica con anterioridad en las propiedades del aire. Al igual que ocurrió con las temperaturas, una vez que no existe más evaporación, las humedades de entrada y salida se igualan. Finalmente, en color azul se muestra la temperatura de bulbo húmedo en la superficie del producto

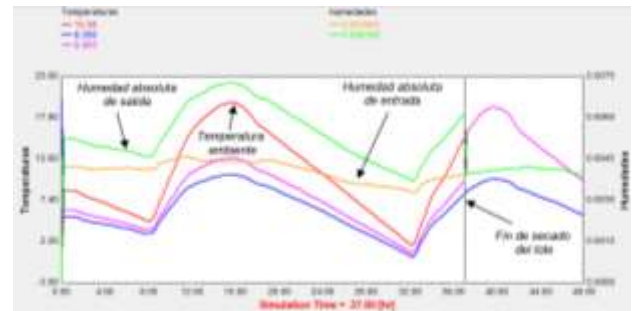


Gráfico 1 TEMPERATURAS Y HUMEDAD ABSOLUTA: Corrida 1 temperatura ambiente y velocidad del aire a 0.1 m/s

Fuente: Impresión de resultados de TRNSYS.

En la Gráfica 2, el color rojo muestra la humedad relativa antes de entrar al secador, esta humedad sube y baja de acuerdo a la humedad y temperatura del aire. Como se puede ver en los horarios de radiación, la humedad relativa baja por el aumento de temperatura en el aire y por el contrario en color azul la humedad relativa de salida aumenta por el enfriamiento del aire y la ganancia de humedad.

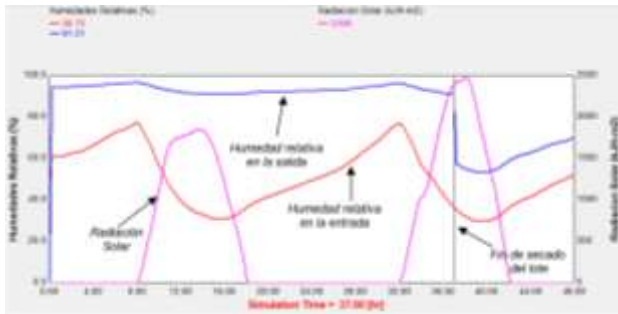


Gráfico 2 HUMEDAD RELATIVA: Corrida 1 a temperatura ambiente y velocidad del aire a 0.1 m/s

Fuente: Impresión de resultados de TRNSYS.

En la Gráfica 3, la línea color rojo representa la cantidad de masa evaporada en cada paso de tiempo de la simulación. Los valores son integrados en TRNSYS hasta que se detecta que ya se evaporó el contenido de humedad deseado. En este caso se puede observar que la línea roja deja de acumular masa de agua después de 37 horas continuas de secado y que no presenta un crecimiento continuo por los cambios de temperatura.

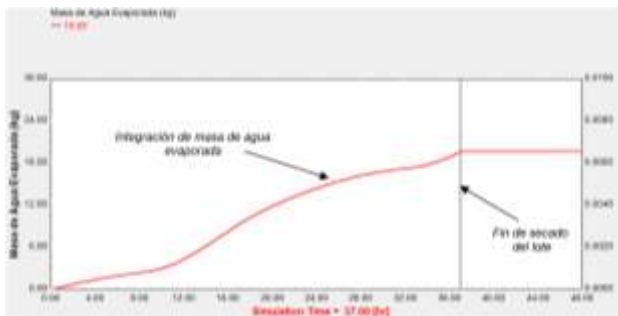


Gráfico 3 MASA DE AGUA EVAPORADA: Corrida 1 a temperatura ambiente y velocidad del aire a 0.1 m/s

Fuente: Impresión de resultados de TRNSYS

La corrida 2, donde la temperatura es mantenida a 65 °C y la velocidad del aire se mantiene constante a 0.1 m/s y la humedad en el aire es transitoria. El secado para estas condiciones fue de 5 horas.

En la Gráfica 4, se muestra una corrida con una duración de 5 horas, esto debido a que se utilizó la temperatura de entrada constante al secador de 65 °C como se ve en color amarillo, acortando la residencia del producto en el secador. En color rojo esta la temperatura ambiente que se encuentra fuera del secador. En color azul se observa la temperatura de bulbo húmedo y en color rosa la temperatura del aire a la salida del secador que deja de enfriarse cuando ya no hay humedad que evaporar. En color verde encontramos la humedad absoluta del ambiente a la entrada del secador y en color azul cielo la humedad absoluta a la salida del secador con un aumento notable de humedad. En esta ocasión, los cambios en las variables no son tan obvios ya que el periodo de tiempo es más corto.

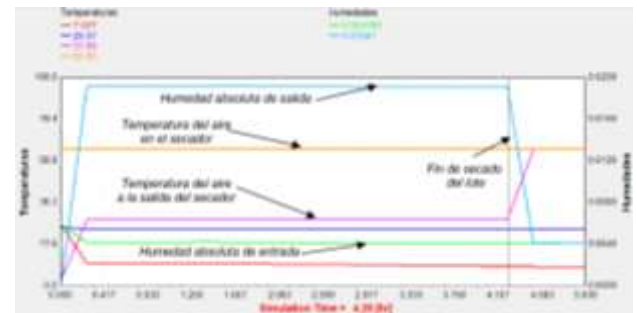


Gráfico 4 TEMPERATURAS Y HUMEDAD ABSOLUTA: Corrida 2 a 65 °C y velocidad del aire a 0.1 m/s

Fuente: Impresión de resultados de TRNSYS

En la Gráfica 5, la línea color rojo que corresponde a la humedad relativa fuera del secador es casi constante por el corto periodo de tiempo, al igual que la humedad relativa a la salida del secador que se muestra en color azul, sin embargo, ésta sufre un aumento por el enfriamiento evaporativo y ganancia de humedad.

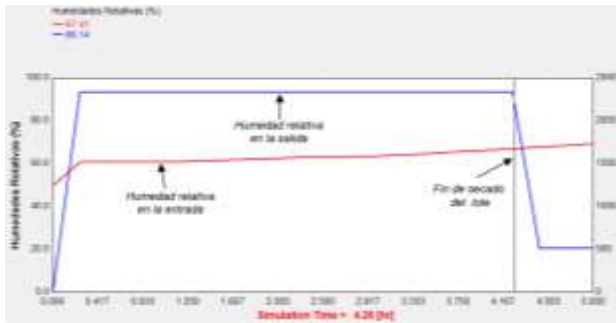


Gráfico 5 HUMEDAD RELATIVA: Corrida 2 a 65 °C y velocidad del aire a 0.1 m/s

Fuente: Impresión de resultados de TRNSYS

En la Gráfica 6, se observa la integración de la masa de agua evaporada que describe una línea constante. Esto debido a que la temperatura que corre en el interior del secador es constante y que el periodo de secado es relativamente corto, por lo que las otras variables de entrada tienen pequeños gradientes.

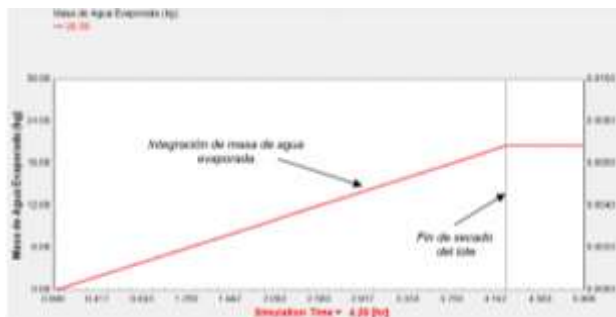


Gráfico 6 MASA DE AGUA EVAPORADA: Corrida 2 a 65 °C y velocidad del aire a 0.1 m/s

Fuente: Impresión de resultados de TRNSYS

Conclusiones

Se presentó un modelo simplificado de secador de carne tipo batch. Se realizaron 2 corridas para comparar los tiempos de secado cambiando la temperatura, en una corrida usando temperatura ambiente como comúnmente se usa para el secado tradicional exponiendo el producto un flujo de aire a temperatura de bulbo seco, y la otra corrida usando 65 °C ambas a una velocidad de 0.1 m/s.

Tomando en cuenta estos resultados respecto al tiempo de residencia del producto en el secador y en base a la información documentada sobre el secado de carne, sobre la sensibilidad de la carne a la descomposición por tiempos prolongados de secado, descartaremos utilizar la temperatura ambiente para cálculos futuros.

Gracias a los resultados obtenidos en estas simulaciones se puede obtener grandes ahorros de energía al usar temperatura de 65 °C y una velocidad de 0.1 m/s.

Además del tiempo de secado, se espera obtener el consumo de energía necesaria para lograr el secado, esto tomando en cuenta las diferentes temporadas del año donde varía la humedad del aire.

Referencias

Gerard. (1991). Tecnología de carne y de los productos cárnicos. ACRIBIA EDITORIAL.

Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2011). Solar drying. *Solar Energy*, 85(8), 1665–1691. doi:10.1016/j.solener.2009.10.001

Tang, R., & Etzion, Y. (2004). Comparative studies on the water evaporation rate from a wetted surface and that from a free water surface.

Building and Environment, 39(1), 77–86.
doi:10.1016/j.buildenv.2003.07.007

Martin-Domínguez, I. R. (2004). Desarrollo de un simulador para la optimización termoeconómica de viviendas de interés social. <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>

Almada, M., Cáceres, M. S., Machaín-Singer, M., & Pulfer, J. (2005). GUIA DE USO de secaderos solares para fruta, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Paraguay: CEDESOL INGENIERIA.

Fuller, R. J., Lhendup, T., & Aye, L. (2005). Technical and financial evaluation of a solar dryer in Bhutan. *Victoria*, 1–8.

Plataforma para el control visual de un sistema con dos rotores en configuración coaxial

LORETO-GÓMEZ, Gerardo†*, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi', MORALES-MORFÍN, Marcela y MEDINA-MEZA, Erick Benjamin

*Instituto Tecnológico Superior de Uruapan
Universidad Politécnica de Uruapan*

Recibido 9 de Octubre, 2017; Aceptado 27 de Noviembre, 2017

Resumen

La configuración de un helicóptero coaxial utiliza dos rotores sobre un mismo eje que giran en direcciones opuestas con el objetivo de balancear los pares generados y proporcionar un mayor empuje vertical. En este artículo se presenta el desarrollo de una plataforma experimental que permite estudiar las características de vuelo estacionario de los helicópteros coaxiales así como su despegue y aterrizaje vertical. El sistema de dos rotores en configuración coaxial que integran la plataforma puede posicionarse automáticamente a una altura deseada medida a través de un sistema de visión integrado por una cámara RGB y una tarjeta comercial marca UDOO QUAD que realiza el procesamiento de la visión. Finalmente, la información de posición es enviada a una computadora personal que implementa el algoritmo de control constituido por un arreglo de dos controladores PI en estructura de cascada, el lazo externo controla la altura de vuelo y el lazo interno controla la velocidad de cada uno de los rotores. El diseño mecánico, el hardware y los algoritmos de procesamiento de visión y de control son presentados en detalle. Los resultados experimentales demuestran la viabilidad de la plataforma propuesta para poder utilizarse con fines didácticos y de investigación.

Helicóptero coaxial, control visual, vehículo aéreo no tripulados

Abstract

The configuration of a coaxial helicopter uses two rotors on the same axis that rotate in opposite directions in order to balance the generated pairs and provide a greater vertical thrust. This article presents the development of an experimental platform to study the stationary flight characteristics of coaxial helicopters as well as their vertical take-off and landing. The system of two rotors in coaxial configuration that integrate the platform can be automatically positioned at a desired height measured through a vision system integrated by an RGB camera and a UDOO QUAD commercial card that performs the vision processing. Finally, the position information is sent to a personal computer that implements the control algorithm consisting of an arrangement of two PI controllers in a cascade structure, the outer loop controls the flight height and the internal loop controls the speed of each rotors. The mechanical design, the hardware and the algorithms of vision processing and control are presented in detail. The experimental results demonstrate the feasibility of the proposed platform to be used for didactic and research purposes.

Helicopter coaxial, visual control, unmanned aerial vehicle

Citación: LORETO-GÓMEZ, Gerardo, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, MORALES-MORFÍN, Marcela y MEDINA-MEZA, Erick Benjamin. Plataforma para el control visual de un sistema con dos rotores en configuración coaxial. Revista de Energías Renovables 2017. 1-3:51-58

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: gerardoloreto@tecuruapan.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente, existe un creciente interés en los vehículos aéreos no tripulados (VANT), en particular, los denominados de ala rotativa (Liu, Peter, et al., 2014). Las características más notables son su capacidad de estar suspendido sin que la aeronave se desplace, cambiar su orientación en vuelo suspendido, poder avanzar o moverse lateralmente manteniendo su altura y la habilidad para despegar y aterrizar de manera vertical (VTOL – del inglés *Vertical Take-Off and Landing*), (Intwala, A., & Parikh, Y., 2015). Los VANT de ala rotativa se pueden diferenciar por el número de rotores y la configuración que asuman (tándem, coaxiales, helicópteros, cuadricópteros, entre otros), (Gupta, S. G., et al., 2013).

En los últimos años, la mayor parte del desarrollo de vehículos aéreos no tripulados se ha centrado en su variante de cuatro rotores dispuestos en las extremidades de una cruz. La gran popularidad de este tipo de vehículo, conocido como cuadricóptero, se debe a su gran maniobrabilidad y relativa facilidad de control (Amin, R., et al., 2016). A diferencia del cuadricóptero, los helicópteros coaxiales son aeronaves con dos rotores que giran en sentido opuesto sobre un mismo eje. Esta característica le permite consumir menos potencia para una carga dada y su construcción es más compacta en comparación con un cuadricóptero. No obstante, tiene la desventaja de ser mecánicamente más complejo, debido a que el eje principal tiene que proporcionar propulsión y control, de forma simultánea, a los dos rotores que giran en sentido opuesto (Prior, S. D., 2010).

La particularidad del VANT coaxial se fundamenta en el uso de dos rotores en contra rotación, que compensan y anulan el par resultante sobre el fuselaje de la aeronave.

Esto le permite poder prescindir del rotor de cola, necesario en los helicópteros convencionales para contrarrestar el par generado por el rotor principal. Al tener dos rotores principales, toda la potencia se emplea en generar sustentación, aumentando así la eficiencia energética de estos vehículos (Huerzeler, C., et al., 2013).

Los VANT de ala rotativa desde un punto de vista de la teoría de control, son sistemas intrínsecamente inestables, no lineales, multi-variables, con dinámicas complejas y altamente acopladas, por lo tanto, el desarrollo de nuevos algoritmos de control que permitan un vuelo estable para diferentes aplicaciones resulta un problema de interés actual.

En este contexto, este trabajo presenta el desarrollo de una plataforma experimental basada en un sistema que incluya un VANT en configuración coaxial, un software de control y de procesamiento de datos que permita el tratamiento de la información de navegación y control de vuelo del vehículo en tiempo real con el objetivo de poder probar una amplia gama de estrategias y métodos de control lineal y no lineal. Particularmente, en este trabajo se presenta el diseño mecánico y de control, así como la validación del funcionamiento de la plataforma al implementar un algoritmo de control constituido por un arreglo de dos controladores PI en estructura de cascada que permiten estabilizar el sistema a una altura deseada utilizando información proveniente del sistema de visión (Flores-montes, M., et al., 2017).

El trabajo se encuentra organizado en 4 secciones. La sección 2 presenta la descripción general del sistema mecánico, del sistema de visión y del sistema de control de la plataforma.

En la sección 3 se muestran los resultados experimentales preliminares obtenidos para el control de uno de los dos grados de libertad que tiene la plataforma y que corresponde al grado de posición en la altura del VANT. Finalmente, las conclusiones y posibles trabajos a futuro del artículo son discutidos en la sección 4.

Descripción general de la plataforma

La metodología de diseño de la plataforma se realizó en tres fases. La primera consideró como primer paso un estudio bibliográfico de los trabajos realizados en el diseño de las diferentes configuraciones y estructuras que se han implementado para un VANT axial, con el fin de conocer esfuerzos realizados anteriormente y con ello poder distinguir adecuadamente la aportación del diseño que se presenta. En la segunda etapa se diseñó y se implementaron cada uno de los tres elementos que integran la plataforma, esto es, el sistema mecánico, el sistema de visión y finalmente el sistema de control. Finalmente, la última etapa consistió en la puesta a punto de la plataforma mediante la programación de dos algoritmos de control PI en configuración en cascada. A continuación, se describe el diseño de los diferentes sistemas que integran la plataforma.

Sistema mecánico

Estructuralmente, la plataforma es básicamente un marco en el cual dos de sus extremos pertenecen a las guías por las cuales el VANT se desplazará de manera vertical mediante dos rodamientos lineales, estas guías tienen un largo de 60 cm y un diámetro de 16 mm, el material del marco está fabricado de aluminio, ver figura 1.



Figura 1 Sistema mecánico VANT coaxial.

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la estructura central donde se montan los motores y que se mueve de manera vertical debido al empuje que ejercen las hélices se fabricó mediante impresión 3D. El desplazamiento vertical es permitido debido a que la estructura central se acopla al marco a través de los rodamientos lineales permitiendo así el despegue, sustentación y aterrizaje del VANT, ver figura 2.



Figura 2 Estructura central VANT coaxial.

Fuente: Elaboración propia

La estructura central además permite habilitar un grado de libertad correspondiente a la orientación. Este grado de orientación se define mediante la rotación que se genera por la diferencia de pares entre los dos rotores.

Para permitir esta rotación se diseñó un mecanismo de orientación en el cual los dos rotores se sujetan sobre un eje con soportes para la sujeción de los motores fabricado mediante impresión 3D. El eje se fija a la estructura central mediante rodamientos, de esta forma, si un rotor genera mayor par que con respecto al otro se presenta una rotación del mecanismo, ver figura 3.



Figura 3 Mecanismo para la orientación del VANT

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la plataforma contiene dos grados de libertad, el primero correspondiente a la posición en altura y el segundo correspondiente a la orientación del VANT con respecto al eje vertical.

Sistema de visión

El sistema de visión se encuentra constituido por una cámara RGB, modelo Microsoft LifeCam HD-5000 y una tarjeta UDOO QUAD que se puede utilizar tanto con Android como con Linux, combina un procesador compatible con Arduino. Es una tarjeta equipada con un procesador ARM i.MX6 Freescale, y una sección compatible con Arduino embebido basado en procesador ATMEL SAM3X8E ARM. UDOO funciona a 3.3V y la tensión máxima que los pines de E/S pueden manejar es 3.3V, ver figura 4.

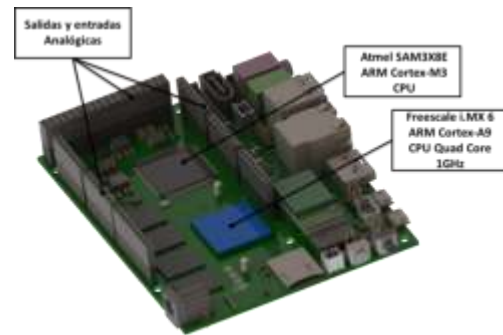


Figura 4 Tarjeta UDOO QUAD

Fuente: Elaboración propia

La imagen se procesa y se obtiene las coordenadas del centroide de una figura geométrica que puede ser de cualquier color y que está unido a la estructura central del VANT. El procesamiento de la imagen se realiza a través de la librería openCV, debido a que tiene una gran variedad de algoritmos de procesamiento de imagen que facilitan el proceso de obtención del centroide de la figura geométrica unida al VANT. El algoritmo para el procesamiento de la imagen se describe en diagrama de flujo de la figura 5. Inicialmente, la imagen se transforma de RGB al espacio-color HVS, donde HSV hace referencia a Matiz, Saturación y Valor, se trata de una transformación no lineal del espacio de color Rojo, Verde y Azul (RGB), con el objetivo de filtrar todos los demás objetos en la imagen presente y solamente detectar la forma geométrica unida al VANT.

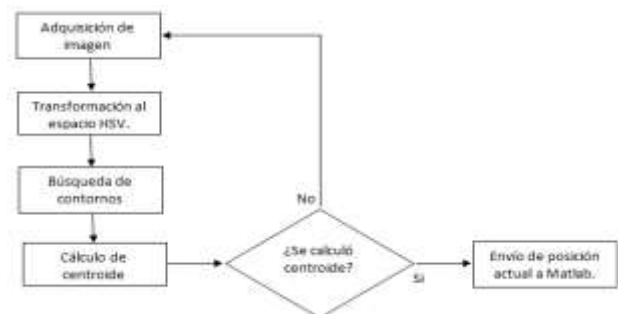


Figura 5 Diagrama de flujo para el procesamiento de imagen.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, una vez que se filtró la imagen, solo se muestra el área que ocupa el objeto a ser rastreado se procedió a encontrar los contornos de la figura que sirve de referencia de la posición del VANT, a través del algoritmo *findContours* que contiene la librería openCV, donde la imagen binaria (blanco y negro) se procesa teniendo como referencia el cambio de un color a otro. Finalmente, teniendo la imagen filtrada y con sus contornos definidos se procedió a calcular el centroide de la referencia mediante el algoritmo *moments* de la librería openCV, ver figura 6.



Figura 6. Filtrado final de la imagen.

Fuente: Elaboración propia

Sistema de control

El algoritmo de control implementado solo permite controlar la altura y no la orientación del VANT, consiste de dos controladores en configuración de cascada siendo el controlador de posición el control de lazo externo y un lazo de control interno para el control de velocidad de los rotores.

La programación del control es llevada a cabo dentro del entorno de Matlab a través de la creación de una interface gráfica para el usuario. En la figura 7 se muestra el diagrama de bloques del algoritmo para el control de la altura del VANT, en donde $d(t)$ representa la altura deseada expresada en pixeles, $a(t)$ es la altura proporcionada por el sistema de visión, $e(t)$ representa el error entre la posición deseada y la actual y $u(t)$ es la señal de control que representa las rpm deseadas para los rotores.



Figura 7 Diagrama de bloques para control de posición.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente fórmula describe la implementación del lazo de control PI externo:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt \quad (1)$$

En el bloque *Planta* se implementa el lazo de control interno para la velocidad de los motores, en la figura 8 se muestra el diagrama de bloques correspondiente al control de las rpm para cada motor, en donde $r(t)$ representa las rpm deseada provenientes del lazo externo, $x(t)$ son las rpm estimadas, $ev(t)$ representa el error entre las rpm deseada y las rpm estimadas y $v(t)$ es la señal de control que representa el PWM enviado a cada rotor.

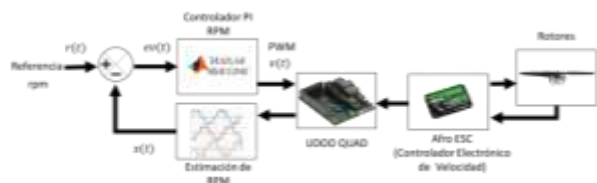


Figura 8 Diagrama de bloques para control de velocidad

Fuente: Elaboración propia

La siguiente fórmula describe la implementación del lazo de control PI interno:

$$v(t) = k_{pi} ev(t) + k_{ii} \int_0^t ev(t) dt \quad (2)$$

Para llevar a cabo el proceso de control de los motores se utilizó un controlador de velocidad electrónico (ESC del inglés *Electronic Speed Control*), este dispositivo permite controlar los motores sin escobillas de corriente directa, al controlar las conmutaciones de las fases del motor con un método muy simple como puede ser PWM, PPM o incluso I2C, para nuestro caso es necesario tener un ESC con conexiones a I2C, tal es el caso de la versión AFRO, este cuenta con los pines libres para llevar a cabo la comunicación I2C, por este medio se manda la consigna de un valor a un registro interno del microcontrolador y este hace el procesamiento para hacer girar el motor. En este proyecto se usó el Afro ESC 30A, los motores *Turnigy 4206 530kv Brushless Multi-Rotor Motor* y para la generación de empuje en este sistema las dos hélices utilizadas, una para la generación de empuje en sentido de las manecillas de reloj y otra para la generación de empuje en sentido contrario a las manecillas del reloj fueron del modelo *Multirotor Carbon Fiber T-Style Propeller 15x5.5*, cuya construcción es de un tipo de fibra de carbono de alta calidad.

El valor del registro mencionado anteriormente hace referencia a un contador que registra el número de conmutaciones realizadas, el Afro ESC desconoce las revoluciones mecánicas (360 grados), solo tiene en cuenta las revoluciones eléctricas; estas revoluciones consisten en 6 conmutaciones realizadas por el motor, cada revolución eléctrica está marcada por 2 imanes permanentes los cuales se encuentran en la carcasa del motor (polos del motor). Los polos del motor pueden ser identificados en las especificaciones del motor o contándolos físicamente; esto es, conociendo que cada polo corresponde a una bobina del motor. Teniendo en cuenta como se incrementa el valor de ese registro, se puede realizar una estimación de las rpm de los motores.

En el caso del motor seleccionado contiene 12 polos, en realidad para saber las revoluciones mecánicas (360 grados) es necesario dividirlo sobre 2 (debido a las revoluciones eléctricas) y multiplicarlo por el valor del registro leído, además de dividirlo sobre el tiempo en el que se llevó a cabo desde la última vez que este registro fue leído (el registro se reinicia cada vez que este se lee). La siguiente fórmula permite realiza una estimación muy simple de las revoluciones actuales del motor:

$$RPM = \frac{\text{Valor_del_registro} \left(\frac{\text{Numero_de_polos}}{2} \right)}{\text{tiempo_de_ultima_lectura}} \quad (3)$$

Por otra parte, la función del microcontrolador SAM3X8E de la tarjeta UDOO QUAD es la de controlar los dos rotores al mismo tiempo, ver figura 9.

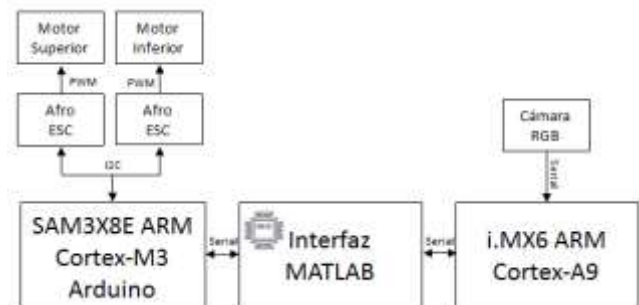


Figura 9 Diagrama de bloques para control con la tarjeta UDOO QUAD

Fuente: *Elaboración propia*

Teniendo en cuenta que solo se controla la altura y no la rotación del VANT, las consignas de control hacia los motores son iguales, por lo que solo se hace la estimación de las revoluciones actuales de un solo motor haciendo la consideración de que estas serán las mismas en ambos rotores ignorando cualquier perturbación externa que pudiera existir.

La figura 10 muestra la imagen de la interfaz gráfica programada en Matlab para la plataforma.

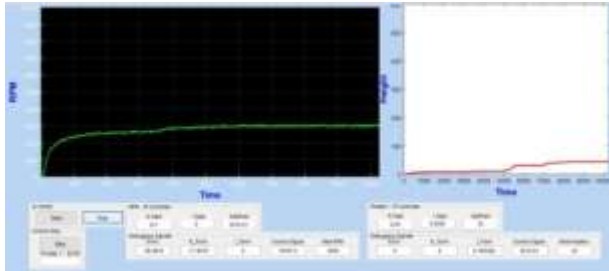


Figura 10 Interfaz GUI de Matlab.

Fuente: Elaboración propia

Resultados experimentales

La parte experimental de este proyecto consistió en realizar la sintonización de los dos controladores PI que incluyeron una zona muerta a través del método experimental variando las ganancias del controlador y la ventana de la zona muerta hasta obtener un desempeño satisfactorio en el posicionamiento del VANT. La ventana de la zona muerta está dada de manera simétrica, esto quiere decir, que tiene el mismo número de pixeles hacia arriba y hacia abajo partiendo desde la referencia deseada que en este caso es la altura deseada. La figura 11 muestra el desempeño obtenido cuando se utiliza una zona muerta de 150 pixeles de manera simétrica para una referencia deseada de altura de 150 pixeles, la escala de tiempo en la gráfica es de 1 ms. Con una ganancia proporcional de 0.3 e integral de 0.001 para el lazo interno y una ganancia proporcional de 0.25 e integral de 0.0001 para el control de lazo externo. En la figura 12 se muestra la plataforma física construida.

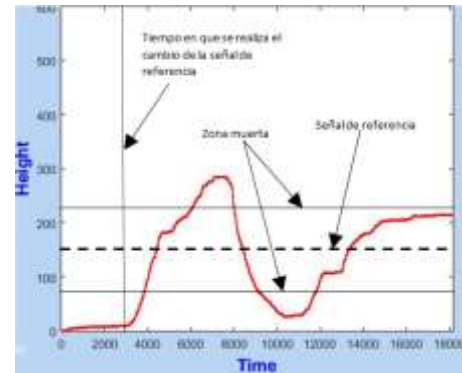


Figura 11 Respuesta en posición del VANT

Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Plataforma física del VANT

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El presente trabajo abordó el desarrollo de una plataforma para el control autónomo de un VANT, contemplando tanto el hardware como de software. El diseño mecánico y los algoritmos de procesamiento de visión y de control para altura de un VANT de dos grados de libertad constituida por dos rotores en configuración coaxial fueron descritos.

Los resultados experimentales preliminares en el control de la posición del VANT permitieron validar el desempeño y la flexibilidad en la implementación de algoritmos de control visual. El sistema diseñado será una herramienta ideal para la enseñanza e investigación en temas como modelado, identificación de parámetros y diseño de algoritmos de control modernos. El trabajo a futuro se concentrará en implementar el control independiente para cada motor e implementar técnicas de control para los dos grados de libertad de la plataforma, posición y orientación.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Tecnológico Nacional de México y al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el financiamiento otorgado para la realización del proyecto. Así mismo, agradecer al Instituto Tecnológico Superior de Uruapan y a la Universidad Politécnica de Uruapan por las facilidades otorgadas para la realización del mismo.

Referencias

Intwala, A., & Parikh, Y. (2015). A Review on Vertical Take Off and Landing (VTOL) Vehicles. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, Vol. 2.

Liu, Peter, et al. (2014). A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. *Smart Struct. Syst*, 13(6), 1065-1094.

Gupta, S. G., Ghonge, M. M., & Jawandhiya, P. M. (2013). Review of unmanned aircraft system (UAS). *International journal of advanced research in computer engineering & technology (IJARCET)*, 2(4), pp-1646.

Amin, R., Aijun, L., & Shamshirband, S. (2016). A review of quadrotor UAV: control methodologies and performance evaluation. *International Journal of Automation and Control*, 10(2), 87-103.

Prior, S. D. (2010). Reviewing and investigating the use of Co-Axial rotor systems in small UAVs. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 2(1), 1-16.

Huerzeler, C., Alexis, K., & Siegwart, R. (2013, May). Configurable real-time simulation suite for coaxial rotor uavs. In *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on* (pp. 309-316). IEEE.

Flores-Montes, Miguel Ángel, Medina-Muñoz, Luis Arturo, Mayorquín-Robles, Jesús, García-Muñoz, Omar Adrián. Detección de Objetos a Color en Tiempo Real con Técnicas de Visión Artificial y Arduino. *Revista de Prototipos Tecnológicos*. 2017 3-7: 1-6.

Instrucciones para autores

[Título en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayúsculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keywords

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman
y Negritas No.11**

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayúsculas -2do Nombre de Autor. Título del Artículo.
Título de la Revista. 2017, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para autores

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]

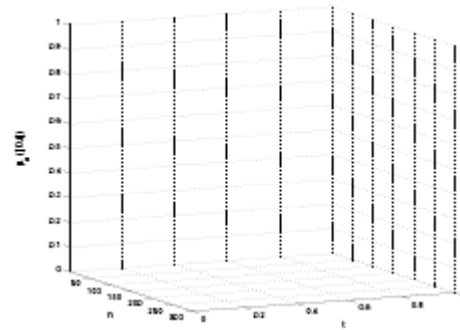


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

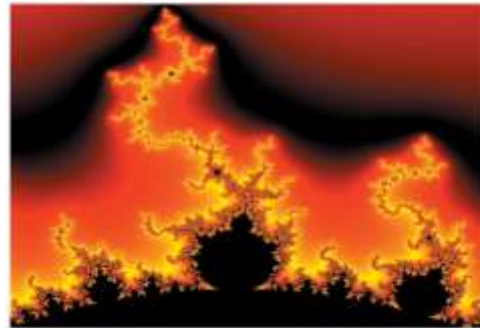


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Cada artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

Instrucciones para autores

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del artículo.

Ficha Técnica

Cada artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Formato de Originalidad



Cusco, Perú a ____ de ____ del 20____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Cusco, Perú a ____ de ____ del 20____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a Ecorfan- Perú a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize Ecorfan- Perú to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Energías Renovables

“Control difuso de velocidad de un robot móvil con interface mediante orientación de rostro para usuarios con capacidades diferentes”

MELCHOR-HERNÁNDEZ, César Leonardo, SÁNCHEZ-MENDEL, Luis Humberto, AVENDAÑO-CORTÉS, Isaías y LÓPEZ-ANDRADE, Germán

“Prototipo de control administrativo del proceso de producción en invernaderos”

HERNÁNDEZ-TAPIA, Zaila, REYNA-ÁNGELES, Omar, SOTO-FERNÁNDEZ, Susana Leticia y ACOSTA-ACOSTA, Araceli

Universidad Politécnica De Francisco I. Madero

“Diseño e implementación de un dispositivo electrónico registrador de estados de anemia”

SÁNCHEZ-MEDEL, Luis Humberto, GALICIA-GALICIA, Laura Adriana, MOLINA-GARCÍA, Moisés y GARCÍA-AMECA, Lauro Alfredo

Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

“Análisis y simulación de cargas de viento en un concentrador solar de canal parabólico mediante la aplicación de software”

AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge, GARCÍA-DOMÍNGUEZ, Jairo, RAMÍREZ-ROJO, Alexis y DE JESÚS-VEGA, César Omar

Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

“Simplificación de modelo de secador de carne de res”

ROMERO-PÉREZ, Claudia, MARTÍN-DOMÍNGUEZ, Ignacio y VENEGAS-REYES, Eduardo

Centro de Investigación en Materiales Avanzados

“Plataforma para el control visual de un sistema con dos rotores en configuración coaxial”

LORETO-GÓMEZ, Gerardo, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, MORALES-MORFÍN, Marcela y MEDINA-MEZA, Erick Benjamin

Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

Universidad Politécnica de Uruapan



www.ecorfan.org