

# Control de Movimiento del Manipulador CRS-A255 por Esqueletización

Sylvia N. Rea Minango

*Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecatrónica.*

*Escuela Politécnica del Ejército*

*Sangolquí, Ecuador*

sreaminango@gmail.com

**Resumen**— Este documento contiene los parámetros observados para la implementación de una plataforma de control para el manipulador robótico CRS-A255 mediante visión artificial utilizando la técnica de esqueletización. La plataforma toma como base el algoritmo de esqueletización de Zhang-Suen y permite al manipulador robótico imitar los movimientos del brazo humano, sin la intervención de mandos externos.

**Palabras clave**— esqueletización, CRS-A255, control de movimiento, OpenCV, visión artificial

## I. INTRODUCCIÓN

Los principales inconvenientes con los dispositivos de control externos utilizados en robótica (palancas de juego o controles a distancia) son la limitación de movimientos del operario y la falta de una verdadera interacción con el objeto, convirtiéndose en grandes restricciones sobre todo para sistemas robóticos teleoperados.

Para solventar estos problemas se han creado varios controles que ofrecen mayor libertad al operador, desde estructuras con luces infrarrojas pasando por guantes sensorizados y por último la adaptación de Kinect. Sin embargo, con el nacimiento de nuevos controles aparece un nuevo obstáculo: la incompatibilidad de éstos con las plataformas robóticas, especialmente las antiguas, como es el caso del manipulador CRS-A255.

La plataforma planteada en este documento tiene como objetivo controlar el movimiento del manipulador robótico CRS-A255 a través de la imitación los movimientos del brazo humano sin la intervención de controles mecánicos o el envío manual de comandos en una terminal, para lo cual se vale de una técnica de visión artificial: la esqueletización.

## II. METODOLOGÍA

En la implementación de la plataforma mencionada se utilizó la metodología científica, dividiendo al proyecto en cuatro fases:

- La primera fase consistió en el análisis de las posibles alternativas para el sistema, así como las configuraciones, componentes y limitaciones de cada una.
- El diseño de la plataforma se llevó a cabo en la segunda fase. Además, se determinaron el algoritmo de

esqueletización y la forma de comunicación con el manipulador CRS-A255.

- Posteriormente, en la fase de implementación se desarrolló e integró el componente de software a la plataforma, mediante programación orientada a objetos y la librería OpenCV.
- Finalmente, en la fase de evaluación se valoró la efectividad y eficiencia de la plataforma.

## III. ANÁLISIS

El planteamiento general para el control del movimiento del manipulador en esta plataforma, fue relacionando las articulaciones del mismo con su correspondiente articulación humana, como se muestra en la Fig. 1. Al establecer esta correspondencia se pueden determinar los elementos restantes del sistema.

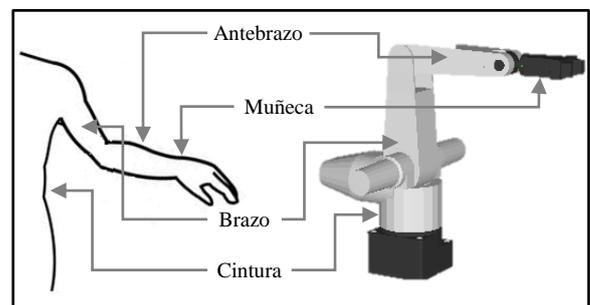


Fig. 1 Correspondencia entre articulaciones humanas y las del manipulador CRS-A255

Por tratarse de una plataforma basada en una técnica de visión artificial, inicialmente se delimitaron los requisitos de las imágenes y los dispositivos con los cuales se realizará la captura.

Para la imagen se determinó que debe cubrir un campo de visión, lo suficientemente amplio para captar los movimientos del operador, poseer un formato de fácil conversión para agilizar el procesamiento, presentar una resolución suficiente para identificar los elementos en la imagen y mostrar colores análogos a los presentes en la escena del operador.

En cuanto al dispositivo se estableció que debía ser altamente portátil, poseer una interfaz de comunicación sencilla y adquirir las imágenes a gran velocidad.

### A. Dispositivo de Captura

De acuerdo a los parámetros fijados, la alternativa más apropiada fue la de utilizar cámaras web para adquirir las imágenes, debido a su resolución y velocidad de captura.

Para cubrir el campo visual necesario se utilizaron dos cámaras dispuestas en planos perpendiculares, de forma que se realiza la captura del brazo humano completo, así como de la región supra-escapular que es la referencia para el movimiento de la cintura del operador.

### B. Técnica de procesamiento

La técnica bajo la cual se procesan las imágenes de la plataforma es la esqueletización, la cual es una técnica que reduce una imagen a un conjunto de líneas y curvas conectadas, de un pixel de grosor que mantienen la geometría y topología de la imagen original. El patrón arrojado como resultado la aplicación de esta técnica se ha denominado esqueleto.

Al existir diversos algoritmos de esqueletización se establecieron los requisitos adecuados para la plataforma, como: mantener la posición de las articulaciones a lo largo del proceso, alta velocidad de procesamiento de las imágenes, bajo consumo de recursos.

El algoritmo cuyas características se ajustan a los requerimientos definidos, fue el presentado en [1], por la velocidad y efectividad al procesar las imágenes.

A partir de este algoritmo se calculan los ángulos de movimiento de cada articulación del brazo humano.

### C. Comunicaciones

La plataforma debe comunicarse de manera eficiente y veloz con el manipulador robótico, pues los datos obtenidos a partir de las imágenes rigen el movimiento al 30% de su velocidad.

Dentro de la comunicación, se ejecutan cuatro acciones:

- Apertura del puerto de comunicaciones
- Configuración de dicho puerto
- Envío de datos al manipulador
- Cierre y restablecimiento del puerto.

Todas estas acciones se realizarán sobre el puerto de comunicación RS-232, disponible en el controlador C500 del manipulador robótico.

## IV. DISEÑO

Posterior al análisis de los principales elementos que integran la plataforma, se genera un esquema general de la misma, la cual se muestra en la Fig. 2.

### A. Hardware

Los dispositivos utilizados en la plataforma pueden dividirse en:

- Dispositivos de adquisición de imágenes
- Dispositivo de procesamiento
- Dispositivo de ejecución

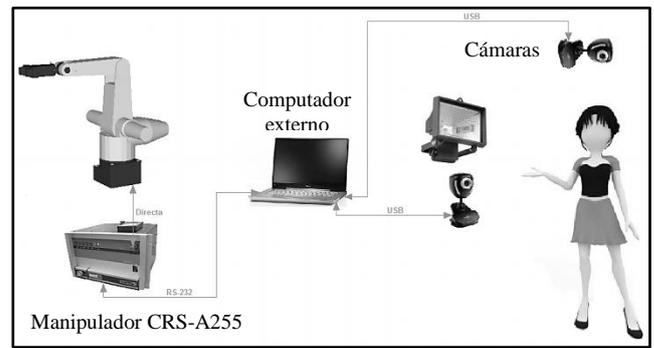


Fig. 2 Esquema general de hardware de la plataforma.

En la Tabla 1 se muestran las características principales de los elementos específicos que integran la plataforma de control de movimiento.

TABLA I  
COMPONENTES DE LA PLATAFORMA

Dispositivo	Modelo	Características
Cámaras Web	Omega 361148	Sensor CMOS 640x480 pixeles 30 fps Interfaz USB
Luminaria	Reflector halógeno	150 W 110V 2400 lm
Computador externo	Dell XPS-14z	Procesador Intel Core i5 4 Gb RAM Windows XP Code::Blocks IDE
Manipulador robótico	CRS-A255	5 grados de libertad 17 kg 110 VAC – 60 Hz Sistema electromecánico Encoders incrementales en cada articulación Controlador C500

### B. Distribución en el Área de Trabajo

La disposición de las cámaras para la adquisición de imágenes es en planos perpendiculares entre sí, sin embargo para determinar su ubicación exacta fue necesario analizar sus ángulos de visión determinando la distancia de captura suficiente para cubrir el campo de movimiento del brazo humano.

Para el modelo específico de cámara web utilizado, el fabricante no provee estos datos, por lo cual se los calculó de forma experimental a partir de Ec. 1, donde se relaciona una distancia conocida con el campo de visión logrado. Los ángulos obtenidos fueron  $38.58^\circ$  de ángulo de visión horizontal ( $\alpha$ ) y  $28.97^\circ$  en vertical ( $\beta$ ).

$$\alpha = 2 \times \tan^{-1} \left( \frac{G}{2 \times d} \right) \quad \text{Ec. 1}$$

Para la cámara frontal, el campo visual a cubrir puede aproximarse con la ayuda de la relación antropométrica Ec. 2, obteniéndose Ec. 3, que relaciona la distancia de captura de la cámara frontal con la altura del operario.

$$\text{Longitud de un brazo} \approx \frac{\text{Altura de la persona}}{2} \quad \text{Ec. 2}$$

$$d \geq \frac{\text{Altura de la persona}}{4 \times \tan(\alpha/2)} \quad \text{Ec. 3}$$

Adicionalmente, de forma experimental se definió que la cámara frontal debe ubicarse a la altura del pecho.

En el caso de la cámara superior, debe colocarse sobre el operario y a una distancia mínima de un metro sobre el mismo.

De acuerdo a las expresiones anteriores y los datos reales del operario, la ubicación exacta de las cámaras se muestra en la Fig. 3 y en la Tabla 2.

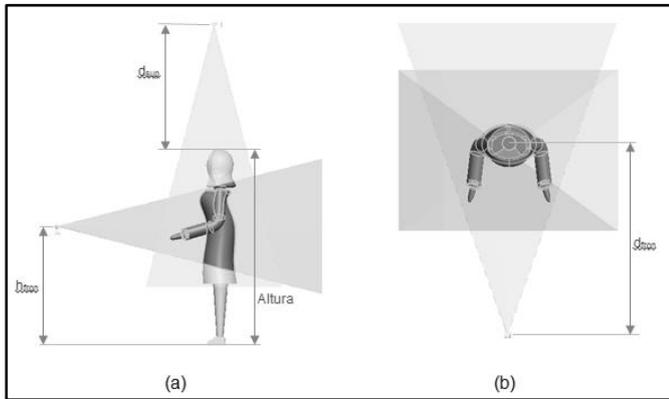


Fig. 3 Ubicación de las cámaras

TABLA II  
UBICACIÓN DE LAS CÁMARAS

Medida	Valor (mm)
Altura operador	1520
$d_{sup}$	1000
$x_{sup}$	(Sobre la persona)
$d_{fron}$	1085.7
$h_{fron}$	950

## V. IMPLEMENTACIÓN

La integración de todos los elementos de la plataforma se la realizó con el dispositivo de procesamiento, mediante el componente de software elaborado en lenguaje C.

El programa toma como entrada las imágenes captadas por las cámaras en las diferentes posiciones y devuelve los datos de movimiento enviados al manipulador robótico.

### A. Estructura del programa

Para el desarrollo del programa se utilizaron las librerías de código abierto OpenCV, para el tratamiento de imágenes; LnxComm, para el manejo del puerto de comunicaciones; y, Qt para la creación de la interfaz gráfica.

El programa se desarrolló en base a clases, cada una con objetivos específicos dentro del mismo, que interactúan para obtener los resultados deseados.

El proceso inicia con la apertura y configuración del puerto de comunicaciones, se envían los comandos de inicialización del manipulador, además de la velocidad de trabajo del mismo.

Una vez establecida la comunicación se arranca la interfaz gráfica desarrollada en Qt; de ella se extraen los primeros parámetros para la captura de imágenes. En seguida, se inicia con la captura de las imágenes y el tratamiento de las mismas previo a la esqueletización ya que es importante trabajar con imágenes binarias para acelerar el proceso. En este punto aplica un filtro de color a la imagen, de forma que solo se obtengan las partes que muestren una tonalidad de piel.

Las imágenes capturadas son esqueletizadas en dos etapas, la primera la procesa mediante el algoritmo de Zhang-Suen; y, la segunda, por el algoritmo de Holt.

El esqueleto obtenido se procesa, a petición del usuario, linealizándolo mediante la aproximación de las líneas que lo conforman. De acuerdo a las características de las líneas obtenidas, éstas se relacionan con una porción del brazo humano para poder calcular su posición. El cálculo de los ángulos se realiza mediante funciones trigonométricas en base a las líneas formadas.

Para utilizar los ángulos calculados, se los analiza para ajustarlos de acuerdo a la posición actual del manipulador además de validar las restricciones espaciales de movimiento del mismo. La ubicación del manipulador robótico limita su movimiento, por lo que se estructuraron expresiones para impedir movimientos que puedan perjudicar los elementos del entorno del robot, así como sus propios mecanismos. Estas limitaciones se establecieron de acuerdo a la cinemática directa del manipulador.

### B. Consideraciones adicionales

A lo largo del desarrollo del programa se establecieron relaciones entre las articulaciones humanas y las del manipulador robótico para enviar datos válidos al controlador.

La primera consideración fue que el movimiento del manipulador robótico está invertido respecto a la del brazo humano, puesto que en los humanos el movimiento natural del brazo es hacia abajo respecto a la articulación del hombro, mientras que en el manipulador el movimiento para el que se diseñó el segundo eslabón fue un movimiento por encima de la articulación.

Una segunda consideración surgió al estudiar el movimiento de la cintura. El movimiento rotativo de la cintura no podía interpretarse directamente con la cámara frontal, por lo cual se utilizó la cámara superior para tomar la región supra-escapular, que refleja de manera fehaciente el movimiento de la cintura, y usarla como referencia para ese movimiento.

Una tercera consideración fue la concerniente a la muñeca. Pese a que en la cintura se dispone de un elemento de referencia, en el caso de la muñeca éste no se consigue fácilmente, de modo que identificar el giro de la misma se convirtió en una limitante del proyecto. Para compensar esta limitante se habilitó el reconocimiento del estado del gripper

para el manipulador, lo cual pudo identificarse con el número ramales presentes en la región esquelétizada.

Una consideración especial, que es la base para el reconocimiento de las articulaciones, es que el programa limitó su captura a los elementos con tonalidades similares a la piel humana, para lo que se creó un filtro de color. Esta acción mejoró enormemente el proceso de reconocimiento de articulaciones y por ende los resultados de la esquelétización.

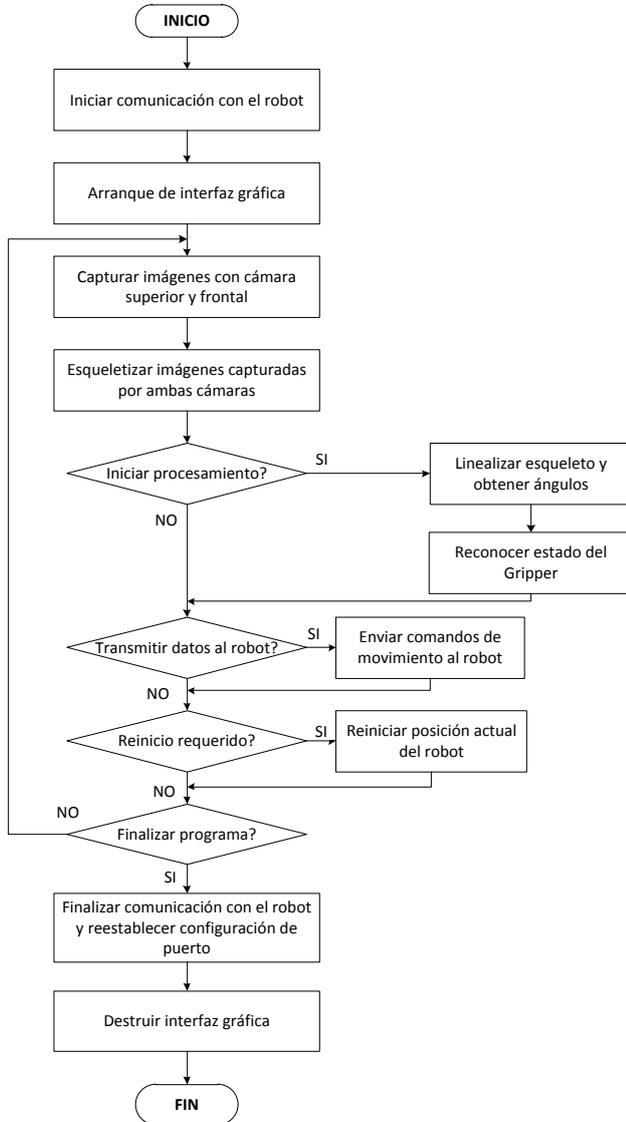


Fig. 4 Diagrama de flujo del programa implementado

## VI. RESULTADOS

La implementación e integración de los elementos de la plataforma cumplió con los objetivos planteados pues es posible controlar cuatro de los cinco grados de libertad del manipulador CRS-A255. Sin embargo, la velocidad de trabajo del robot es una limitante pues presenta un ligero retraso respecto a los movimientos del operador.

La precisión de la posición de las articulaciones del manipulador robótico es aceptable pues tiene un desfase de  $\pm 5^\circ$  con respecto a la posición del operador. Este desfase varía por los resultados arrojados de la esquelétización inicial.

## VII. CONCLUSIONES

La esquelétización como técnica de procesamiento y compresión de imágenes es una herramienta muy útil y presenta grandes ventajas.

Como herramienta para el control de movimiento, la esquelétización presenta una limitante pues no reconoce los giros de un sólido de revolución sobre su propio eje, que es importante en cierto tipo de articulaciones robóticas, como en el caso de la muñeca. Esta limitante se debe a que en cada imagen bidimensional se identifican dos grados de libertad en traslación y únicamente uno en rotación, el giro alrededor del eje perpendicular al plano de la imagen. Con la introducción de una segunda cámara se logró incrementar el número de grados de libertad teniendo tres en traslación y dos en rotación, siendo éste el número máximo de grados de libertad a obtener. Identificar el giro de un sólido de revolución mediante la esquelétización no es posible puesto que al reducir su estructura a una línea se pierde la referencia volumétrica que permitiría calcular esa rotación.

Adicionalmente, los diversos algoritmos de esquelétización existentes presentan falencias obteniéndose resultados diferentes en casa procesamiento, por lo cual es importante incluir un elemento de control para identificar cambios reales de posición de los errores en la esquelétización.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] T. Zhang, C. Suen. "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns". *Communications of the ACM*, vol. 27, No. 3. Estados Unidos. 1984.
- [2] C. Holt. "An Improved Parallel Thinning Algorithm". *Communications of the ACM*, vol. 30, No. 2. Estados Unidos. 1987
- [3] D. Marr. "Vision". Editorial Freeman. Estados Unidos. 1982
- [4] A. Palazzesi. "CCD vs. CMOS". Recuperado de: <http://www.neoteo.com/ccd-vs-cmos>
- [5] J. Silvela. "Sistema eficiente de reconocimiento de gestos de la mano" Universidad Politécnica de Madrid. España. 2000. Recuperado de: <http://www.silvela.org/jaime/PFC.pdf>
- [6] K. Saeed, M. Tabedzki, M. Rybnik, M. Adamski. "K3M: a Universal Algorithm for Image Skeletonization and Review of Thinning Techniques". *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.* vol 20, No. 2, Pg. 317-335. DOI: 10.2478/v10006-010-0024-4. 2010
- [7] M. Couprie. "Note on 2D parallel thinning algorithms". Université Paris-Est Marne-la-Vallee. 2006. Recuperado de: [http://igm.univ-mlv.fr/LIGM/internal\\_report/pdf/2006\\_01.pdf](http://igm.univ-mlv.fr/LIGM/internal_report/pdf/2006_01.pdf)
- [8] G. Gallegos. "Convergencia multi-reticular de propiedades de los esqueletos continuos y discretos generados mediante adelgazamiento" Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México. 2005. Recuperado de: <http://www.ctrl.cinvestav.mx/~biene/ThesisFiles/TesSkelMultiResolGaby.pdf>

- [9] M. Del Rayo. "Adelgazamiento en imágenes digitales de dimensión dos modeladas por complejos celulares cuadrático". Centro De Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México. 2004
- [10] A. Anak. "Enhancement of parallel thinning algorithm for handwritten characters using neural network". Universiti Teknologi Malaysia. Malasia. 2005 Recuperado de: <http://eprints.utm.my/3796/1/AdelineEngkamatMCD2005TTT.pdf>
- [11] J. Johnson. "El factor multiplicativo de los sensores. Aprendiendo una pizca de Fotografía Digital". 2009. Recuperado de: <http://aprendiendofotografiadigital.wordpress.com/2009/03/21/el-factor-multiplicativo-de-los-sensores/>
- [12] R. Horcajada. "Apuntes generales de anatomía morfológica aplicada". Universidad Complutense de Madrid. España. 2011. Recuperado de: [http://eprints.ucm.es/13413/1/C%C3%81NONES\\_ANTROPOM%C3%89TRICOS\\_APLICADOS\\_AL\\_DIBUJO\\_DE\\_FIGURA.pdf](http://eprints.ucm.es/13413/1/C%C3%81NONES_ANTROPOM%C3%89TRICOS_APLICADOS_AL_DIBUJO_DE_FIGURA.pdf)