

Sistema dispensador de bebidas con función de enfriado rápido

A. Delgado, D. Bueno, W. Cajo, J. Ferrer. *Students Ricardo Palma University-Peru, {alvarodelgado15, diegobv, wilfredo_ramon2} @outlook.com, jerson.ferrer.valles@gmail.com*
Adviser R. Palomares, *member Ricardo Palma University-Perú ricarpal@gmail.com*

Abstract.- Beverage dispensing systems today have a common architecture and functionality. Also, they share the same issue, which is that the beverage gets shaken while being dispensed, and they consume a lot of electric energy to keep those beverages cold. Our goal with this project is to develop an energy efficient, no-shake beverage dispenser by using a 3 DoF robotic arm and our rapid cooling system. This will allow for a low idle time energy consumption in a interesting and attractive looking machine.

Palabras Claves— Dispensador, bebidas, ahorro.

I. INTRODUCCIÓN

Con frecuencia, cuando pedimos una bebida en las máquinas dispensadoras convencionales, esta se golpea en camino a su distribución, lo que no solo agita la bebida sino que también limita el sistema a botellas de plástico. Nuestro objetivo con este trabajo es eliminar ambos problemas y proveer un sistema capaz de almacenar cualquier contenedor de bebida, ya sea plástico, vidrio, o latas de aluminio, teniendo además una entrega rápida, con temperatura de la bebida ajustable por el cliente.

Nuestra propuesta consiste de un sistema que incluye un brazo robótico de 3 grados de libertad con la capacidad de mover la bebida desde su anaquel hasta el sistema de enfriamiento rápido que diseñamos, el cual enfría la bebida a temperatura deseada por el usuario (Temperatura ambiente, fría, extra fría), para luego ser entregada sin ser agitada en el trayecto.

Aunque se puede utilizar solo un sistema de enfriado rápido en la máquina, proponemos la utilización de hasta 3 de estos dispositivos, de tal manera que el usuario pueda pedir hasta 3 de bebida dispensadas cada vez sin tener que esperar el triple del tiempo. La ventaja de esto es que el sistema ocupa el mismo espacio que una lata de gaseosa, por lo que la capacidad de la máquina (considerando el ahorro del espacio al eliminar el enfriamiento por descompresión de gases) es aproximadamente la misma que una máquina dispensadora convencional.

Es importante considerar que el circuito de control tanto como los controladores para cada motor utilizado

son actualizables para mejorar su rendimiento y añadir opciones.

La interfaz de usuario consta de un panel con botones para seleccionar la bebida, 3 botones para seleccionar la temperatura de la misma, y finalmente pantalla LCD para mostrar tanto precio como preferencias seleccionadas.

II. CÁLCULOS RELACIONADOS AL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

SOBRE EL BRAZO ROBÓTICO

En principio, el primer problema que debimos afrontar fue el del movimiento del brazo robótico de tal modo que se eviten colisiones, por lo que recurrimos al libro de Biagiotti L. y Melchiorri C., donde se menciona que el movimiento está definido tanto por las condiciones iniciales y finales, además del tiempo que tomará la operación en realizarse. Desde un punto de vista matemático, el problema es encontrar una función $q = q(t)$, $t \in [t_0, t_1]$ tal que se satisfagan las condiciones dadas. Esto se puede resolver de manera sencilla considerando una función polinomial $q(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n$, donde los $n+1$ coeficientes a_i son determinados para las condiciones iniciales y finales. El grado n de la polinomial depende del número de condiciones a ser satisfechas y en la "suavidad" deseada del movimiento resultante. Dado que el número de condiciones es generalmente par, el grado de la ecuación polinomial es impar, por ejemplo tres, cinco, siete, etcétera. [1].

Para mostrar la importancia de esta consideración, utilizaremos el siguiente ejemplo de un robot de 2 GDL:

Teniendo las condiciones iniciales $q_0 = 10$, $q_1 = 20$, $t_0 = 0$, $t_1 = 10$, $v_0 = 0$, $v_1 = 0$, $v(t = 2) = 2$, $a(t = 8) = 0$, obtenemos una polinomial de grado 5 cuyos coeficientes resultan $a_0 = 10.0000$, $a_1 = 0.0000$, $a_2 = 1.1462$, $a_3 = -0.2806$, $a_4 = 0.0267$, $a_5 = -0.0009$.

Este análisis será explicado a continuación; sin embargo es importante recalcar que las condiciones iniciales estarán dadas según la geometría final del mecanismo, además de pruebas del mismo para determinar las velocidades y aceleraciones que menor efecto tengan

sobre el contenido del recipiente de la bebida, ya sea este de plástico, vidrio o lata.

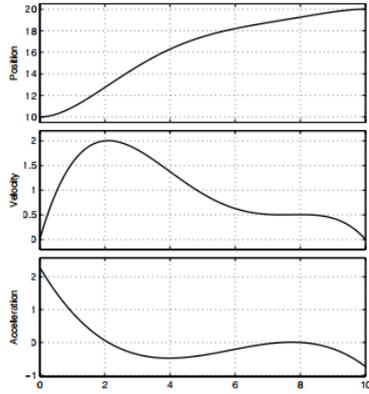


Fig. 1. Perfiles de posición, velocidad y aceleración de una trayectoria polinomial de grado 5 con condiciones dadas.

El análisis de la ecuación polinómica de grado 5 se resuelve de la siguiente manera. Considerando un polinomio:

$$\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5 \quad (1)$$

Para esto, se tienen las siguientes restricciones: (2)

$$\theta_0 = a_0$$

$$\theta_f = a_0 + a_1t_f + a_2t_f^2 + a_3t_f^3 + a_4t_f^4 + a_5t_f^5$$

$$\dot{\theta}_0 = a_1$$

$$\dot{\theta}_f = a_1 + 2a_2t_f + 3a_3t_f^2 + 4a_4t_f^3 + 5a_5t_f^4$$

$$\ddot{\theta}_0 = 2a_2$$

$$\ddot{\theta}_f = 2a_2 + 6a_3t_f + 12a_4t_f^2 + 20a_5t_f^3$$

Las restricciones dadas en (2) especifican un conjunto lineal de seis ecuaciones con seis incógnitas cuya solución es: (3)

$$a_0 = \theta_0$$

$$a_1 = \dot{\theta}_0$$

$$a_2 = \frac{\ddot{\theta}_0}{2}$$

$$a_3 = \frac{20\theta_f - 20\theta_0 - (8\dot{\theta}_f + 12\dot{\theta}_0)t_f - (3\ddot{\theta}_0 - \ddot{\theta}_f)t_f^2}{2t_f^3}$$

$$a_4 = \frac{30\theta_0 - 30\theta_f + (14\dot{\theta}_f + 16\dot{\theta}_0)t_f + (3\ddot{\theta}_0 - 2\ddot{\theta}_f)t_f^2}{2t_f^4}$$

$$a_5 = \frac{12\theta_f - 12\theta_0 - (6\dot{\theta}_f + 6\dot{\theta}_0)t_f - (\ddot{\theta}_0 - \ddot{\theta}_f)t_f^2}{2t_f^5}$$

Con esta solución somos capaces de obtener las posiciones, velocidades y aceleraciones de cada articulación de nuestro robot.

SOBRE EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO RÁPIDO

El sistema de enfriamiento rápido que diseñamos utiliza el Cooper Cooling Process™, diseñado por la empresa Cooper Cooler. Se basa en hacer rotar una bebida rápidamente pero sin agitarla mientras se le vierte agua fría encima.

Esto puede parecer poco intuitivo en cuestiones de enfriamiento; sin embargo, la física relacionada al proceso es bastante interesante y más complejo de lo que puede parecer a simple vista. Si una de las operaciones que se obvian, el proceso toma más tiempo del requerido.

En principio, al hacer rotar el recipiente de la bebida, se logra que la bebida se enfríe de manera pareja, puesto que el líquido internamente rota por efecto de fuerza centrífuga. Si se intentara enfriar la bebida sin movimiento, el gradiente de temperatura en todo su volumen haría que el proceso demore más tiempo, siguiendo la ley de enfriamiento de Newton. Esta establece que “Cuando la diferencia de temperaturas entre un cuerpo y su medio ambiente no es demasiado grande, el calor transferido en la unidad de tiempo hacia el cuerpo o desde el cuerpo por conducción, convección y radiación es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el medio externo”.

Sin embargo, al hacer rotar la bebida, el diferencial de volumen líquido que se enfría por diferencial de tiempo modifica su densidad a causa de la temperatura, lo que hace que este líquido ligeramente más frío que el resto se mueva hacia el centro del recipiente, dando espacio a que un nuevo diferencial de volumen líquido sea enfriado. Este ciclo se repite hasta que todo el líquido ha sido refrigerado a la temperatura deseada, lo cual para una temperatura aproximada de 10°C toma: Para lata estándar, 1 minuto. Para botella de plástico, 3 minutos. Para botella de vidrio, 5 minutos. La diferencia de tiempos del proceso se debe a la capacidad de transferencia de calor de dichos contenedores. Si se desea una temperatura aún menor, solo se debe incrementar el tiempo del proceso; por ejemplo, para 4°C (Temperatura más común en bebidas entregadas en establecimientos de comida rápida), se requiere casi el doble del tiempo del proceso para cada contenedor.

Teóricamente la temperatura mínima que se puede alcanzar está dada por la temperatura del agua que se vierte. Para nuestro sistema consideramos un pequeño volumen de agua que se refrigera cíclicamente cada vez que un sensor detecta que se calienta (consumiendo poca potencia dado que este proceso no se realiza constantemente y solo se refrigera un volumen reducido y de calor específico constante), que generalmente se encontrará entre 3°C y 4°C, temperatura promedio de un vaso con hielos.

III. DISEÑO MECÁNICO

El diseño de nuestro sistema se divide en tres partes: el diseño de la máquina en sí, el diseño del brazo robótico, y finalmente el diseño del enfriador rápido.

Principalmente, para el diseño de la máquina en sí ha sido realizado considerando que debe ser atractivo a la vista, simple de utilizar, y con espacio para publicidad.

Para esto, tenemos:



Fig. 2. Estructura básica de la máquina.

En la figura 2 mostramos un avance del diseño de la máquina que contiene las partes principales de la misma. Estas son: Anaqueles (derecha), de los cuales se muestra solo uno con la finalidad de dar a entender el funcionamiento; el brazo robótico (centro superior), el cual utiliza motores paso a paso de lazo cerrado como actuadores; el sistema de enfriamiento rápido (Azul, centro inferior), y un receptáculo para entrega de la bebida (izquierda).

Toda la tapa frontal será de material acrílico semi-transparente de tal forma que se observe el proceso por el cliente, y se puedan colocar etiquetas publicitarias de las marcas de bebidas que se colocan en la máquina. El receptáculo no necesita ser cubierto completamente como en una máquina convencional dado que no hay diferencia de temperaturas entre el interior de la máquina y el ambiente, lo cual permite incluir ahí también publicidad.

En cuanto al brazo robótico, hemos optado por un diseño simple pero con capacidad de carga de aproximadamente 1Kg. Debido a que queremos disminuir esfuerzos al motor de lo que consideramos “el hombro”, el motor que mueve “el codo” se encuentra en el extremo no actuante del brazo a modo de contrapeso y transmite el movimiento a través de una faja.

El diseño del brazo se muestra en la Figuras 3:



Fig. 3. Estructura básica del Brazo.

El “codo” del brazo tiene una estructura que diseñamos exclusivamente para esta aplicación y permite movimiento de 180°, tal como se muestra en la Figura 4.



Fig. 4. Codo del brazo robótico impreso en 3D.

En la Figura 5 se muestra el sistema implementado.



Fig. 5. Codo del brazo robótico impreso en 3D.

Finalmente, el diseño del sistema de enfriamiento rápido es el más sencillo. La estructura básica de este es la siguiente:

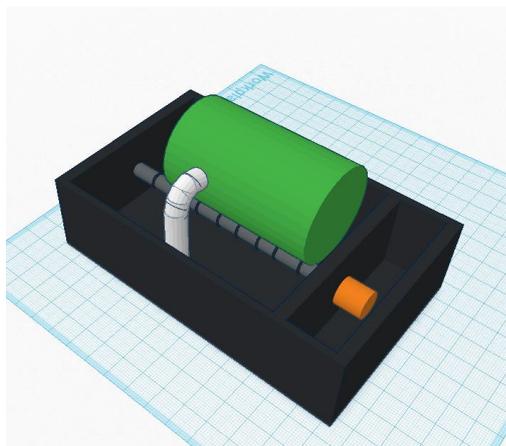


Fig. 6. Estructura básica del sistema enfriador rápido.

Lo que se muestra en la figura 6 es lo siguiente: Recipiente (negro), el cual sostiene todo el resto de componentes; el eje (gris), el cual sostiene la bebida y transfiere el movimiento del motor a esta. Además cuenta con anillos de caucho que no permiten deslizamiento de la bebida que se coloca sobre él. También observamos el motor (anaranjado), el cual está en un compartimiento separado para no mojarse. En este compartimiento también colocamos el microcontrolador que domina su funcionamiento, y lógicamente es tapado (lo cual no se muestra en esta figura por motivos de demostración). Luego, observamos la manguera que verterá el agua fría sobre la bebida (blanco). Esta manguera está colocada a una bomba que viene del contenedor de agua fría, y el recipiente tiene un agujero que recircula el agua que cae. Además mostramos una lata de tamaño estándar por motivos demostrativos, tal como se muestra en la Figura 7.

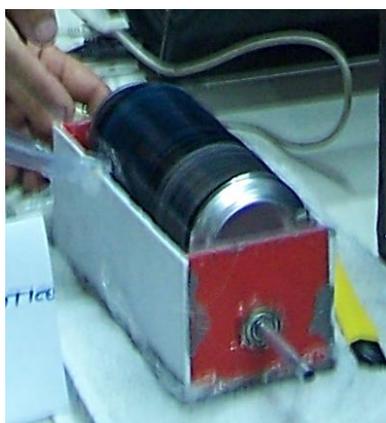


Fig. 7. Sistema enfriador rápido.

IV. CONCLUSIONES

- Es factible el diseño de un sistema dispensador de bebidas con función de enfriamiento rápido.
- El sistema de enfriamiento rápido es más energéticamente eficiente que un sistema de refrigeración convencional.
- El mecanismo completo es visualmente más atractivo que una máquina dispensadora común.
- Debido a la eficiencia energética y la capacidad de almacenamiento, este sistema requiere menos mantenimiento y rellenado, por lo que la relación costo-beneficio aumenta.

V. OBSERVACIONES

- Los materiales a utilizar en la máquina están por evaluarse, debido a que se requiere un estudio de las fuerzas involucradas en el proceso.
- Los microcontroladores a utilizarse serán PIC, dado que podemos configurarlo para poder temporizar los procesos sin necesidad de recalibración cada cierto tiempo.
- Dado que el sistema ha sido diseñado horizontalmente, en vez de verticalmente como una máquina dispensadora común, puede ser empotrado en una pared. Esto lo hace factible para colocarlo en bares, discotecas, etc.
- El presente proyecto será utilizado como base para la tesis para obtener el Título de Ingeniero Mecatrónico.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Biagiotti, Luigi. Trajectory Planning for Automatic Machines and Robots. Berlin: Springer, 2008.
- Siciliano, Bruno. Sciavicco, Lorenzo, et al. Robotics: Modelling, Planning and Control. Italia: Springer, 2010.

VII. BIOGRAFÍAS



Alvaro Gonzalo Delgado Boza, estudiante de Ingeniería Mecatrónica – URP Perú, 8vo Ciclo.

Especialista en sistemas de video-seguridad MOBOTIX y asesor de seguridad corporativa – Pre-Visión S.A.C.
alvarodelgado15@outlook.com

(+51) 997 556 713



Diego Augusto Bueno Veliz,
estudiante de Ingeniería
Mecatrónica - URP Perú, 8vo
Ciclo.

Asistente de ingeniería de
proyectos en CONIDA.
diegobv@outlook.com
(+51) 961 803 632



Wilfredo Ramón Cajo Carmona,
estudiante de Ingeniería
Mecatrónica - URP Perú, 8vo
Ciclo.

Trabajador en Servicios
Generales Diesel S.A.C.
wilfredo_ramon2@outlook.com
(+51) 992 799 232



Jerson Ferrer Valles, estudiante
de Ingeniería Mecatrónica -
URP Perú, 8vo Ciclo.

jerson.ferrer.valles@gmail.com
(+51) 931 728 181