

PROYECTO: Desarrollo de Prototipo “Determinador de Grado Alcohólico Continuo”.

PROJECT : Prototype Development "Machine to Determine the Continuous Alcoholic Grade”

Luis Cárdenas Lucero*, Edy Barnett Mendoza**, Juan Meza Arrieta***, Rafael Figueroa Lezama****, Hugo Chacón Moscoso***** y Fredy Borjas Zúñiga*****

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Fecha de recepción: 04/10/10

Fecha de aceptación: 27/10/10

ANTECEDENTES

La producción de Pisco en nuestro país, es una actividad productiva con un alto potencial que aún es poco desarrollado como generador de fuentes de trabajo y de divisas. Según la Norma Técnica 211.001.2002 se define como “el aguardiente obtenido exclusivamente por destilación de mostos frescos de “Uvas Pisqueras” recientemente fermentadas, utilizando métodos que mantengan el principio tradicional de calidad establecido en las zonas de producción. El proceso productivo, comprende la separación del mosto y del hollejo en forma mecanizada. El mosto virgen como es conocido este líquido es distribuido en depósitos de plástico y/o cemento revestido y de acero inoxidable. El proceso fermentativo se lleva a cabo en forma natural, realizándose la descomposición de los azúcares contenidos en el mosto, transformándose en alcohol etílico y dióxido de carbono en un periodo que oscila entre 5 y 10 días. El mosto fermentado se somete al proceso de destilación cuyo objetivo es el de concentrar las sustancias volátiles del mosto fermentado, en una operación que consiste en la ebullición del mosto seguido por la condensación de sus vapores.

En el sistema de destilación simple usado para el Pisco, la separación de los distintos constituyentes volátiles se hace en base a cortes o sea por separación de la primera fase de “cabeza”, rica en sustancias de bajo punto de ebullición como el alcohol metílico, que debe de ser separado por su toxicidad; una segunda fase de “corazón” donde pasa principalmente el alcohol etílico, y una ultima fase de “cola” con sustancias de punto de ebullición elevado como alcoholes superiores y furfural. El proceso de destilación para la obtención de pisco termina cuando se alcanza un producto total de tope o cabeza (el destilado) con una graduación entre 38° a 48°G.L. El punto final de esta etapa se lleva a cabo en las bodegas en forma manual haciendo uso de determinadores de grado alcohólico como es el caso de alcoholímetro, procedimiento que no permite obtener una replicabilidad del proceso especificada para el cliente. La Escuela de Ingeniería Industrial de la USMP, desarrolló en el año 2003 un prototipo de destilador para la obtención de Pisco con control automatizado de variables de proceso que permiten la separación de las fracciones “cabeza”, “cuerpo” y “cola” en forma automatizada permitiendo la estandarización de la calidad del pisco desde el punto de vista de presencia de componentes aromáticos-volátiles y de graduación alcohólica a nivel de Bodegas, mismo que se encuentra a disposición de las bodegas pisqueras. Una de las etapas desarrolladas en éste destilador automatizado (que permite la separación de las fracciones “cabeza”, “cuerpo” y “cola”), hace uso de un “Equipo determinador de grado alcohólico” de manera continua; el mismo que no es accesible en el mercado nacional y que representa un elevado costo; toda vez que se hace necesaria su importación (Refractómetro de marca Atago de origen Japonés). Dicho equipo tiene una incidencia del 50% en el costo del paquete de

automatización para destiladores de las bodegas pisqueras que pueden solventar dicha innovación, sin embargo no permite a las pequeñas y medianas bodegas acceder a éste. En el marco de lo expuesto la Escuela de Ingeniería Industrial llevó a cabo el proyecto “Desarrollo de Prototipo de Determinador continuo de grado Alcohólico” a fin de bajar el costo del “Paquete Tecnológico” para su acceso a todos los productores de pisco y pueda complementarse con su destilador y de esta manera, ser accesible a pequeñas y Medianas Bodegas Pisqueras.

OBJETIVO

Desarrollar y construir un prototipo de “Determinador de grado alcohólico continuo” para el control y registro del grado alcohólico y realizar la separación de las fracciones “cuerpo” y “Cola” automáticamente.

Objetivos específicos del proyecto

- Diseñar el sistema del “Determinador continuo de grado alcohólico”
- Construir el prototipo de “Determinador continuo de grado alcohólico”
- Realizar las pruebas e implementación del prototipo en el proceso de destilación del pisco a nivel de pequeñas y medianas bodegas pisqueras.
- Establecer las especificaciones del “Paquete Tecnológico” para su acceso a todos los productores de pisco a bajo costo
- Tener un prototipo funcional que permita ser antecedente de los futuros desarrollos de determinadores de grado alcohólico a nivel nacional.

JUSTIFICACIÓN

La estandarización de la producción del pisco respecto a su graduación alcohólica facilitará su consolidación en el mercado internacional, siendo necesario para esto el desarrollo de un prototipo “Determinador continuo de grado alcohólico” automatizado de bajo costo y accesible a las PYMES pisqueras.

Tiene relevancia social puesto que los principales beneficiarios serán los pequeños y medianos productores de pisco que podrán ofertar un producto estandarizado respecto a su graduación alcohólica.

El elevado costo que representa el Refractómetro CM-780 ATAGO (determinador de grado alcohólico en línea) en el modulo de “Automatización del Control de Variables en Proceso de Destilación para la obtención del Pisco” desarrollado por la Escuela de Ingeniería Industrial de la USMP en el 2003, no permite su acceso a las pequeñas y medianas bodegas pisqueras a ésta innovación tecnológica.

El prototipo de determinador continuo de grado alcohólico de construcción nacional (desarrollado y construido en la FIA) y que es alternativo al de marca ATAGO; será antecedente de los futuros desarrollos de determinadores de grado alcohólico.

MARCO TEORICO

El Determinador de Grado Alcohólico o también llamado refractómetro es un instrumento óptico utilizado para medir el índice de refracción de una sustancia translúcida. Este aparato hace uso del principio del ángulo crítico o ángulo límite de reflexión total y está dividido en 2 partes, siendo una de ellas iluminada y la otra sin iluminación. La separación que hay entre dichas partes corresponde al rayo límite. La luz que pasa de un medio al otro sufre refracción, un cambio del ángulo de incidencia, que medido puede revelar características propias del material (1).

El instrumento puede ser utilizado para determinar la identidad de un material desconocido, basado en su índice de refracción; también puede ser utilizado para determinar la concentración de una sustancia disuelta en otra o aún puede determinar la pureza de una determinada sustancia.

Existen 4 tipos principales de refractómetro: tradicionales o manuales, digitales de laboratorio, de Abbe y los llamados refractómetros en línea (2, 3).

Para los objetivos de nuestro proyecto se tomó en cuenta el funcionamiento de los refractómetros en línea que habían en el mercado. Estos dispositivos miden “*continuamente*” la concentración de diferentes sustancias; siendo este modelo el más conveniente para la medición del mosto de uva.

Para el desarrollo del prototipo “Determinador de grado alcohólico continuo” se planteo un diseño de automatización y se evaluaron alternativas tecnológicas para la transducción de señal físico-electrónica. Las alternativas priorizadas fueron:

Refractografía ó uso de laser.- Es la desviación que sufre un haz de luz al incidir sobre un medio, este fenómeno es conocido como la refracción de la luz. El refractómetro es un instrumento que mide el índice de refracción utilizando este principio. El índice de refracción se incrementa en proporción a la concentración de la solución.

El índice de refracción del aire bajo presión atmosférica es 1. Cuando la luz ingresa en un medio “X”, la razón del seno del ángulo incidente medido contra la fase límite del seno del ángulo refractante es llamado el índice refractivo del medio “X”. En este proyecto esta alternativa se dejo de lado por su falta de precisión en la lectura.

Uso de sensor L.V.D.T.- Que es un transformador diferencial de variación lineal, que convierte el movimiento de un núcleo en un campo magnético de una bobina en una señal eléctrica variable, donde el movimiento del núcleo modifica las señales relativas entre los dos devanados (4, 5). Esta alternativa es muy costosa.

Luego de las evaluaciones de disponibilidad, funcionalidad y factor económico de las alternativas mencionadas se opto por el “*uso del flex sensor*”, que es un dispositivo que cambia la resistencia cuando está sujeto a tensión y tiene una

estructura flexible (6). Cuando el sensor no está doblado (sin tensión) tiene una resistencia nominal de 10 K ohm., y cuando se dobla gradualmente se incrementa la resistencia entre 30 y 40 K ohm. La resistencia máxima alcanzada es de 40 K ohm. Cuando se dobla 90° se tiene una resistencia aproximadamente de 35 K ohm.

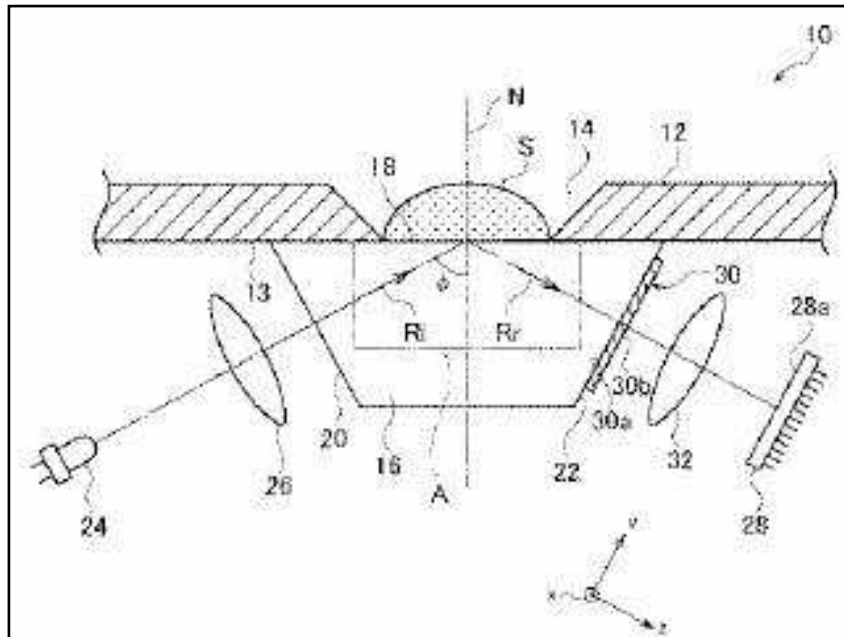
METODOLOGIA

Tal como se explicó líneas arriba se utilizó como metodología el *diseño de prueba y error*, que se usa mucho en proyectos de automatización y proyectos de software. Este método consiste en identificar la variable crítica del proceso y realizar muchos experimentos hasta encontrar valores ideales. Para tal efecto se llevaron a cabo numerosas pruebas experimentales en el Taller de Ingeniería Industrial de la USMP.

Para la alternativa de uso de laser se utilizó un puntero láser como fuente emisora de luz y un vaso de precipitados conteniendo alcohol de diferentes graduaciones, observándose ciertos barridos de longitud para diferentes graduaciones de alcohol. Al realizar varias pruebas se ha detectado la influencia de la forma cilíndrica del vaso de precipitados optando por la adquisición de una celda de polietileno con la cual se corrigió los efectos de la forma del recipiente y al realizar varios experimentos se ha observado un mínimo de desplazamiento para las diferentes graduaciones de las muestras con lo cual no era posible la

discriminación del grado alcohólico de las muestras con la precisión deseada. Tal como se aprecia en la Figura Nro. 1.

Figura Nro. 1 Principio de Funcionamiento Haz de Laser.



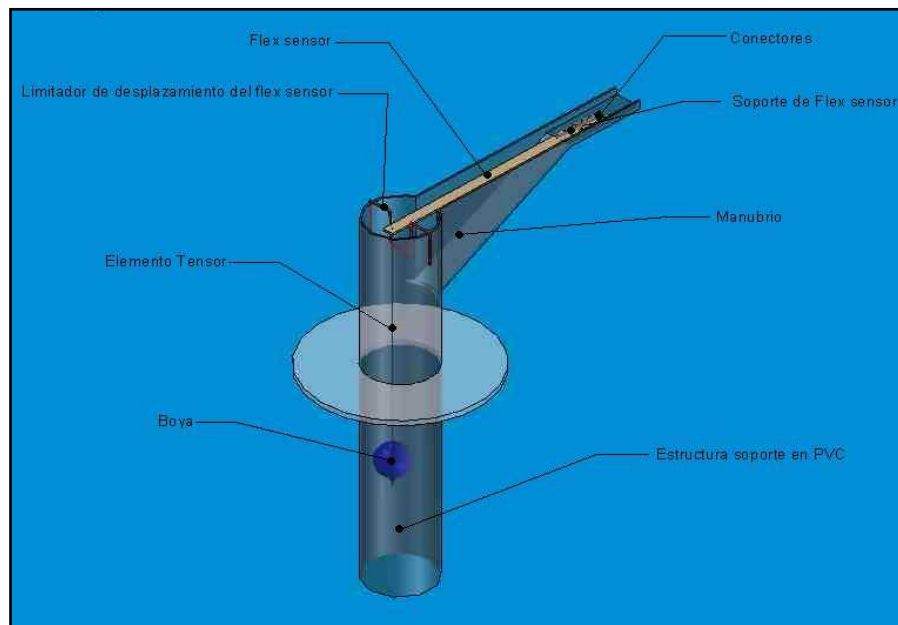
Fuente: Óptica del laser, 2da ed. Berkeley.

Para la segunda alternativa usando Sensor LVDT, que es un transformador diferencial de variación lineal, que convierte el movimiento de un núcleo en un campo magnético de una bobina en una señal eléctrica variable, donde el movimiento del núcleo modifica las señales relativas entre los dos devanados.

Luego de varias simulaciones este sensor presenta según sus características desplazamientos muy pequeños y precisos pero lamentablemente tiene un costo elevado; motivo por el cual fue descartado porque no era concordante con el objetivo inicial.

La tercera alternativa evaluada fue el uso de un sensor de resistencia, el cual combinando con los efectos de la ley de Arquímedes resultó siendo la alternativa mas viable para los objetivos del Proyecto. En la Figura numero N°2 se presenta esquema del desarrollo funcional del prototipo desarrollado.

Figura N° 2 Esquema Funcional del flex sensor

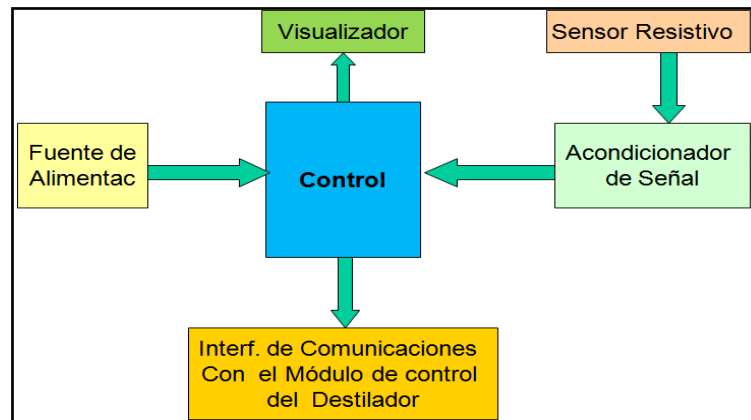


Fuente: Elaboración propia

El flex sensor al deformarse proporciona una medida de potencia variable, proporcional a la flexión del sensor. Aplicando una tensión mediante divisor de voltaje, obtenemos una señal expresada en voltaje que es proporcional a la flexión del sensor. Esta señal es entregada al microcontrolador PIC 12F675 que realiza la conversión de la señal analógica a la digital (A/D), a través de un programa desarrollado por el equipo de investigación (software de control) que permite procesar las señales digitalizadas mediante un acondicionamiento y tratamiento de

la “densidad” (alcohol del mosto de uva en el agua), mediante su expresión en niveles eléctricos y mostrarlo en una pantalla de display LCD (7, 8); visualizando los grados alcohólicos en forma continua e informando al modulo de control del destilador para que el microcontrolador de éste módulo accione los actuadores (electro válvula), para los cortes automatizados de las fracciones “cuerpo “ y “cola”. El modulo desarrollado se comunica serialmente a través del protocolo RS-232 con la computadora. En la Figura N° 3 se presenta el diagrama de bloques del Modulo.

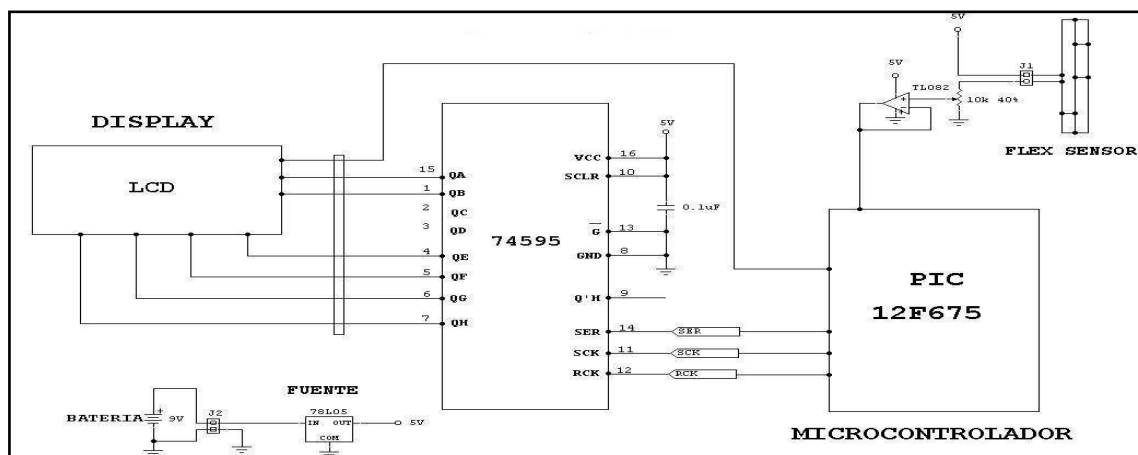
Figura Nro. 3. Diagrama de Bloques del Circuito de Control



Fuente: Elaboración Propia

El diseño del circuito de control del Alcoholímetro se muestra en la figura Nro. 4

Figura Nro. 4 Circuito de Control Alcoholímetro



Fuente: Elaboración propia

Lo importante de esta tarjeta es que se tiene el software de control grabado en el microcontrolador el cual al ejecutar el programa, realiza la toma de datos desde el sensor, el procesamiento y la visualización en el LCD y el control del sistema.

RESULTADOS

Se consiguió de manera satisfactoria, la determinación de valores referenciales de grado alcohólico, que nos permite identificar el corte de “Cola” y de esa forma poder reemplazar de manera experimental al Refractómetro CM780 (9). Con este proyecto terminado podemos poner a disposición de las PYMES pisqueras el prototipo “Determinador de grado alcohólico continuo” para su instalación y funcionamiento en forma complementaria al equipo destilador para la obtención de pisco. El prototipo fabricado, muestra una medición confiable y estable del rango referencial del corte de “cuerpo” y “Cola” resultado de las pruebas efectuadas en el 2008 - 2009.

En el desarrollo experimental se tomaron muestras de alcohol de acuerdo a los cuadros Nro. 1, 2, 3 y 4 observándose los siguientes resultados.

Cuadro Nro. 1: Resultado de pruebas efectuadas con diferentes valores de soluciones Hidroalcoholicas 47°gl – 65°gl

Muestra	Prueba 1 K Ω.	Prueba 2 K Ω.	Prueba 3 K Ω.	Prueba 4 K Ω.	Prueba 5 K Ω.	Prueba 6 K Ω.	Prueba 7 K Ω.
Agua	10,65	10,62	10,62	10,55	10,56	10,55	10,55
Alcohol a 65 °gl	10,66	10,65	10,64	10,64	10,64	10,64	10,64
Alcohol 47°gl	10,65	10,61	10,60	10,60	10,60	10,60	10,59

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro Nro. 2: Resultado de pruebas efectuadas a diferentes valores de la solución Hidroalcoholica 37°C – 82°C a temperatura de 24°C

Muestra ° GL	Prueba 1 K Ω	Prueba 2 K Ω	Prueba 3 K Ω	Prueba 4 K Ω	Prueba 5 K Ω
37	10,68	10,56	10,53	10,53	10,52
39	10,67	10,56	10,53	10,54	10,53
42	10,74	10,57	10,57	10,56	10,55
45	10,66	10,56	10,55	10,55	10,56
47	10,67	10,57	10,58	10,57	10,57
82	10,73	10,64	10,63	10,62	10,64

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro Nro. 3: Pruebas de Resistencia de Flex Sensor a diferentes grados alcohólicos y a temperatura constante de 24°C

Grado Alcohólico gl	82	79	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30
Resistencia de Flex Sensor K Ω	10,65	10,63	10,63	10,60	10,58	10,58	10,57	10,54	10,51	10,51	10,51	10,50

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro Nro. 4: Pruebas de Resistencia de Flex Sensor a diferentes grados alcohólicos y a temperatura constante de 25°C

Grado Alcohólico gl	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30
Resistencia de Flex Sensor K Ω	10,72	10,69	10,66	10,63	10,61	10,59	10,57	10,56	10,54	10,53	10,52

Fuente: Elaboración Propia.

El circuito electrónico basado en microcontrolador, para la adecuación de la señal del “Determinador de grado alcohólico continuo”, se ha preparado para ser conectado a nuestro sistema de control del Destilador-FIA; así como para ser conectada a cualquier PC. Cabe mencionar que el Determinador cuenta con display LCD independiente para poder visualizar la medición. Tal como nuestra Figura Nro.4.

Figura Nro. 4.- Refractómetro en Línea



CONCLUSIONES

- En base a los resultados obtenidos en la primera versión, se construyó una segunda versión del prototipo, pero en acero inoxidable, encapsulado para los componentes electrónicos y un sistema de entrada y salida de muestra.
- En la presente vendimia (2010) el prototipo construido fue instalado en el modulo de automatización desarrollado por la USMP, reemplazando al refractómetro CM-780, validando su funcionamiento en planta, realizando corridas piloto.

RECOMENDACIONES

- Continuar con las investigaciones para el desarrollo de otros prototipos basados en otras tecnologías u otros principios físicos, que nos permitan medir con mayor exactitud el grado alcohólico.
- Solicitar a la Comisión Nacional del Pisco su mayor identificación y apoyo al desarrollo de esta “investigación aplicada” para lograr el posicionamiento del Pisco en forma competitiva, en base a la estandarización de su calidad, referido a la presencia de componentes odoríferos-volátiles y de graduación alcohólica.

Referencias

ATAGO, Manual de Operación CM-780n Inline BriX Monitor, 2003.

AVANZADOS DSPIC. Controladores digitales de señales. Arquitectura, programación y aplicaciones, Editorial Thompson.

CREUS SOLÉ, ANTONIO 2005. “Instrumentación Industrial”, Marcombo.

DOUGLAS A. SOCK 2002, Principios de Análisis Instrumental, Editorial Thompson.

Douglas A Sock 2002, Principios de Análisis Instrumental, Editorial Thompson.

HAMILTON-SIMPSON-ELLIS 1995. “Refractometría y Polarimetría”, Mc Graw Hill. México.

JOSÉ MARÍA ANGULO USATEGUI 2005 MICROCONTROLADORES

JOSE PERA 1999 “El Pisco, cadenas productivas”, Edición PUCP

TROSEN ROBOTICS Manual de operación Resistive Flex Sensor, 2003

<http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Refractometer>

<http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/lvdt-73930.html>