

# LA TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN CON MICROONDAS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

## MICROWAVE MEASURING TECHNOLOGY FOR SUGAR INDUSTRY

Por  
DIPL.-ING. ULRICH KLUTE

*Berthold Technologies GmbH & Co. KG*  
*Calmbacher Str. 22*  
*75323 Bad Wildbad*  
*Germany*  
[industry@Berthold.com](mailto:industry@Berthold.com)

**KEYWORDS: Brix, dry substance, density, cane sugar, microwave, crystallisation**

### Abstract

Nowadays the dry substance of sugar syrup and massecuite is measured online using the most advanced microwave measuring technology. The correlations for water content and dry substance allow for accurate control of concentration, Brix content and density in all areas of sugar production. This permits a continuous measurement during the complete crystallization process, both in the solution and the magma phase.

This report explains the measuring effect and signal analysis of microwave measurement systems and illustrates the user benefits, resulting in very good process control.

Solutions are proposed for typical application problems such as incrustation, abrasion, purity dependencies and the recognition of breaks between crystallization processes using the MicroPolar Brix measurement system.

Results acquired with different sensors in various processes and applications are presented.

Besides the accurate and reliable measurement of all products from sugar beet or sugarcane, a high value is placed on simplicity, low maintenance and easy calibration to ensure optimised process control and cost. The automatic calibration feature, which requires no additional PC, is demonstrated.

### Resumen

Actualmente la materia seca de la meladura y las masas cocidas se mide en línea usando la más avanzada tecnología de medición por microondas. Las correlaciones para el contenido de agua y materia seca permiten el control adecuado de la concentración, contenido de Brix y densidad en todas las áreas de la producción de azúcar. Esto permite una medición continua durante todo el proceso de cristalización tanto en la solución como como en la fase magma.

Este reporte explica el efecto de medida y el análisis de señales de sistemas de medición por microondas e ilustra los beneficios para el usuario que resultan en un muy buen control de proceso.

Se proponen soluciones para problemas típicos de aplicación tales como incrustación, abrasión, dependencias de pureza y reconocimiento de problemas en los procesos de cristalización usando el sistema de medición Micro-Polar Brix. Se presentan resultados obtenidos con diferentes sensores en varios procesos y aplicaciones.

Además de la precisión y la confiabilidad en las mediciones de todos los productos en azúcar de remolacha y caña se tiene un alto valor en la simplicidad, bajo mantenimiento y facilidad de calibración para asegurar costos y control de proceso optimizados. Se demuestra la función de calibración automática, que no requiere un PC adicional.

### **Introducción**

La determinación exacta del contenido de sustancia seca y/o densidad es de gran importancia en varias secciones de una fábrica de azúcar. Para todas estas tareas de medición, la tecnología de microondas ofrece una solución efectiva.

Dependiendo del tipo de proceso, el sensor debe llenar requerimientos especiales. Por ejemplo, el sensor debe estar equipado con un dispositivo de limpieza en procesos continuos de cristalización para garantizar una medición confiable a lo largo de los tiempos de operación.

La medición continua de sustancia seca se requiere en todo el proceso de cristalización. Y se requiere una medición precisa. Tanto en la fase de solución antes de la agregación de semillas, como en la fase de magma a la descarga del producto. Esto no se puede lograr usando refractómetros de proceso, de ese modo no es posible hacer medición en la fase de cristalización.

Durante la producción de azúcar, hay otros procesos en los cuales es muy importante la determinación de la sustancia seca o medición de Brix. Esto incluye la medición de grados Brix en el jugo crudo, en jugo diluido. Para estas aplicaciones, se usan celdas especiales para instalación en tuberías. Además, las características de las microondas permiten la exacta determinación de la concentración de sólidos, por ejemplo la lechada de cal y la medición de humedad en el azúcar cristalizada.

Este reporte hace referencia al procesamiento de las señales y al funcionamiento de este tipo de sistemas y recalca las ventajas directas para el usuario.

### ***Las características de las microondas***

El uso de las técnicas de medición con microondas para la determinación de la sustancia seca se está haciendo más popular a lo largo y ancho del mundo. ¿Efectivamente qué son las microondas? Son ondas electromagnéticas, similares a las que usa un radio, un celular o un horno microondas.

Las microondas usadas en estos dispositivos comunes difieren en frecuencia y potencia. Las microondas usadas en los sistemas de medición para la industria azucarera tienen frecuencias alrededor de 2.5 GHz y no son muy potentes.

La tabla 1 compara la potencia de las microondas de varios dispositivos.

Horno Microondas	1000 W
Teléfono celular	2 W
MicroPolar Brix	0.0001 W

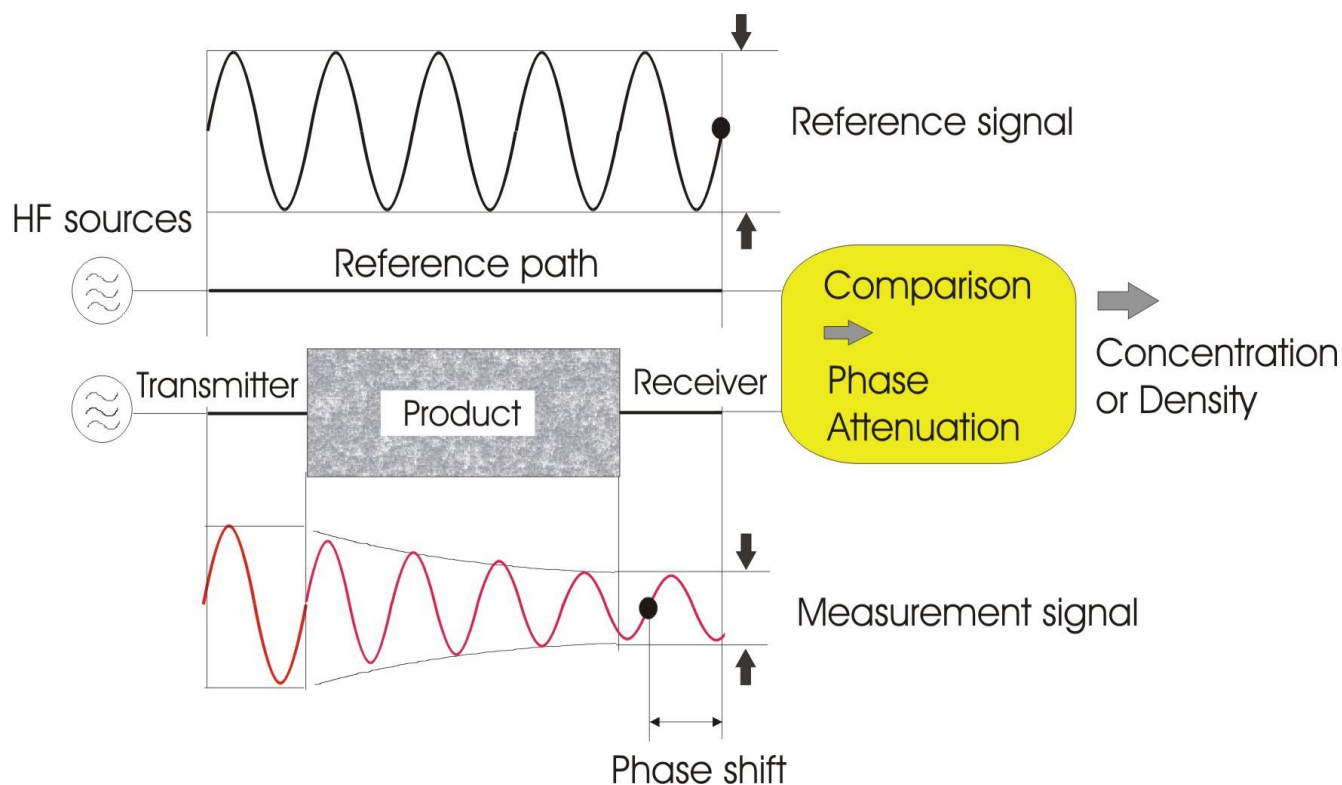
El mismo término “microonda” se explica por sí solo. En un dispositivo de medición por microondas, estas se irradian al producto a medir desde un transmisor, y son detectadas por un receptor.

Si el transmisor y el receptor forman una sola unidad, estos dispositivos se llaman resonadores, de dispersión o de reflexión. Cuando el transmisor y el receptor están separados, esto es conocido como un equipo de medición de transmisión de la onda

Los equipos de medición de transmisión, tecnología que ofrece Berthold, ofrecen usualmente una medición más representativa de la concentración en grados Brix o la humedad de un producto como resultado de que analiza más cantidad del producto.

Los componentes de un flujo de producto son polarizados a varias potencias durante la transmisión de microondas a través del producto, resultando en una pérdida de energía de la señal de microondas. Esta reducción de velocidad permite a su vez un desfase en la señal y el debilitamiento de la energía afecta la atenuación de la microonda (ver figura 1) .

Si hay moléculas de agua presentes en el producto, este efecto se incrementará desproporcionadamente. La influencia del agua en la señal es aproximadamente 40 veces mayor que la influencia de otros componentes como el azúcar.. De lo anterior es claro qué tan sensitiva en la medición a la concentración del agua.. La correlación entre el contenido del agua y de sustancia seca permite una medida muy precisa de la concentración, brix o de la densidad en todas las etapas de la producción del azúcar.



### ***Comportamiento de la medición en jugos, mieles y melazas***

Medir en una sustancia líquida como jugo crudo, jugo diluido, mieles, melazas, se logra con la técnica de medición con microondas, la cual mide la concentración de cristales de azúcar de manera similar a como se mide la sustancia seca en una solución. Para su calibración, las ondas de microondas (fase y atenuación) son referenciadas al valor de la muestra analizada en el laboratorio, si hay cristales presentes en la muestra, ellos deben ser disueltos inicialmente (por dilución) y así se determina el contenido total de los sólidos en la solución.

Así que el sistema de microondas siempre mide el contenido actual de la sustancia seca sin importar que el azúcar esté en solución o parcialmente cristalizado. Esto resulta en un método simple de calibración y en una alta confiabilidad del sistema de microondas en los equipos de un ingenio: tachos, evaporadores, tachos continuos. La sencillez de la calibración y el cálculo de su ecuación característica, son confiables y precisas y casi siempre se puede calibrar un equipo solo con dos muestras solamente debido a su linealidad.

Otros procedimientos de medida son menos confiables en los procesos de cristalización. Por ejemplo, una medición con infrarrojos no puede medir en una solución con cristales y una medición radiométrica (con isótopos) de densidad requiere dos instrumentos debido a los diferentes rangos de frecuencia que se usan.

Las ecuaciones de calibración lineales, debido al comportamiento de la medida difieren en la solución y la fase de magma. Los sistemas que usan la conductividad y microondas de baja frecuencia son dependientes en alto grado de la pureza de la solución, lo que hace que tengan restricciones en la plausibilidad de medición.

Un sistema de microondas es de baja frecuencia cuando usa MHz y de alta frecuencia cuando usa GHz.

### ***Variables que podrían influenciar la medición***

(A) –Tamaño de los granos de azúcar

La influencia del tamaño de los cristales de azúcar es pequeña.

La presencia de los cristales puede afectar los resultados dependiendo de la relación entre las longitudes de onda y el tamaño del grano. Para una relación longitud de onda/tamaño del grano mayor que 10, la influencia del tamaño del grano es despreciable.

(B) Pureza del azúcar

Las dos señales de microondas, fase y atenuación, se correlacionan bien en la mayor parte de los casos y en la mayoría de las aplicaciones.

La fase se usa para la calibración debido a la gran sensibilidad de la medición. La sensibilidad de la medición de atenuación se incrementa considerablemente en los jugos de azúcar de baja pureza.

En estos casos, se usa preferiblemente una calibración mixta que tenga en cuenta la fase y la atenuación para incrementar la precisión de la medida. Esto permite que la técnica de medición por microondas sea usada con gran precisión para productos de todas las purzas. Debido a la anterior podemos decir que la influencia de las fluctuaciones de pureza del producto es despreciable.

En comparación, hay una clara dependencia y restricciones de medición cuando se usan instrumentos basados en conductividad o microondas de baja frecuencia, debido a que hay diversos rangos de frecuencia en uso.

(C) Color y turbidez

La influencia del color y la turbidez del producto no existe en los sistemas Berthold de medición por microondas.

(D) Temperatura del producto

La alineación de las moléculas de agua en el campo de las microondas y así mismo la medición de concentración o humedad depende de la temperatura.

La influencia de la temperatura es lineal en la mayor parte de los casos y se puede compensar fácilmente.

Durante el proceso de cristalización en un tacho la temperatura puede variar en un rango de 60 a 80° C dependiendo del vacío. La influencia de la temperatura en este rango es igualmente lineal.

La unidad de evaluación Berthold calcula automáticamente la compensación por temperatura después del proceso de muestreo.

### ***Procesamiento de la señal***

El cambio de fase y atenuación de la onda causados por el producto deben ser detectados y evaluados por un excelente procesador de señales. Eso depende de un buen equipo dinámico, mediciones certeras y generación estable de las microondas. El equipamiento dinámico indica que tan bien se puede detectar y/o reconocer la señal de microondas – mayor dinámica, mayor precisión en la medición del instrumento. Haciendo un paralelo con la naturaleza: las personas jóvenes tienen buena audición, así que ellos tienen una dinámica acústica más alta que las personas más viejas. El equipamiento dinámico de un equipo MicroPolar Brix es de 70 dB, muy por encima del promedio de otros sistemas de medición por microondas de la industria azucarera.

La medición certera es un prerrequisito básico en los equipos de medición por microondas. Pueden ocurrir cambios rápidos de fase en el dispositivo de medición, los cuales pueden sugerir que hay cambios rápidos de concentración en el proceso. La onda de fase (que puede ser de  $\pm 360^\circ$ ) es responsable por esto y es ambigua principalmente. Una ambigüedad similar puede ocurrir con la medición del tiempo. Un vistazo a un reloj análogo no nos dice si son las cinco en punto de la mañana o de la tarde. Se necesita información adicional, por ejemplo la posición del sol o si está oscureciendo en el horizonte.

El MicroPolar Brix resuelve el problema de la ambigüedad aplicando un criterio de plausibilidad a la medición y así asegura una fase clara. Además hay una función opcional para restringir el rango de medición.

### ***El Sistema de medición:***

La unidad de evaluación de microondas y los sensores.

El Sistema microondas de Berthold tiene dos componentes:

(A) la unidad de evaluación alojada en un gabinete de acero inoxidable. Allí está en el procesador de gran desempeño y el generador de microondas

(B) El sensor de microondas en forma de inserción para tachos o tanques y en forma de spool para inserción en tuberías. Y el sensor de microondas en forma de antena de corneta-

La figura 2 muestra un arreglo típico con sensor de inserción. El sensor está siempre conectado a la unidad de evaluación por medio de un cable de alta frecuencia.

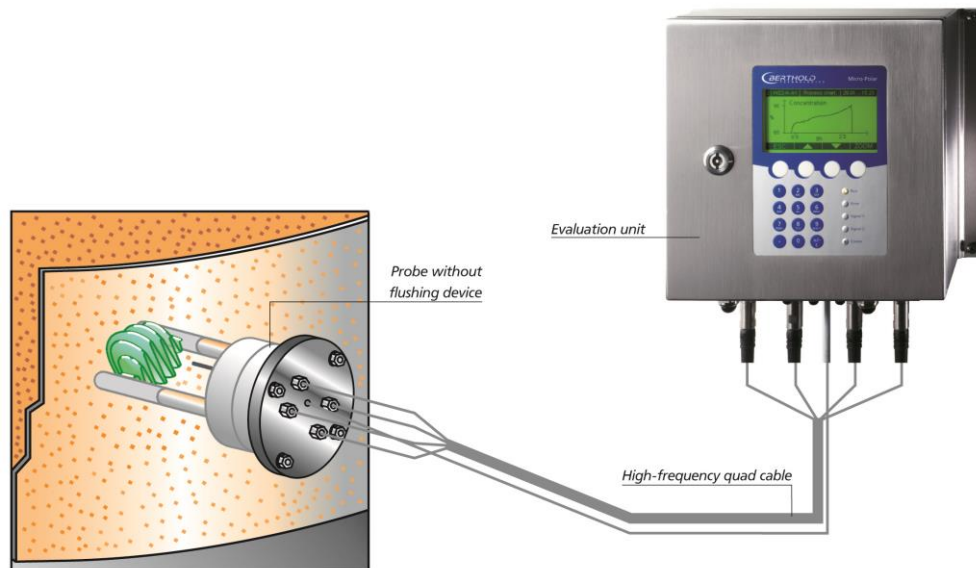


Figura 2

#### ***(A) Unidad de Evaluación***

La unidad de evaluación compacta (procesador digital y módulo de microondas) se opera intuitivamente usando un teclado virtual y alfanumérico. La señal de medida se transmite a través de salidas aisladas de 4..20 mA o a través de una interfase RS-232.

Todos los parámetros y datos de calibración se guardan en una memoria EEprom que está protegida contra fallos en la alimentación y es de fácil reemplazo.

La confiabilidad de la operación se asegura porque usamos solo un sensor con una unidad de evaluación. La distancia entre la unidad de evaluación y el sensor puede ser hasta de 10 metros; permitiendo que el módulo de alta frecuencia esté alejado del calor del proceso. La unidad de evaluación

compacta está certificada para operación a temperatura ambiente hasta de 60° C. El Segundo canal de alta frecuencia está diseñado como un canal de referencia y permite una compensación del equipo por las pérdidas que tenga la señal en el cable de conexión.

Cuando se usa un tacho para diferentes productos, el instrumento MicroPolar Brix de Berthold permite la calibración de 4 productos. El cambio de producto se puede hacer desde el teclado y por medio de las entradas digitales del instrumento.

En procesos a batch, hay un gran beneficio cuando se puede pausar la medida de cristalización entre dos procesos. MicroPolar Brix permite hacer esta pausa mediante el uso de la función de tendencias en la cual la salida actual de corriente cae al valor más bajo cuando el producto se descarga. Solamente con la entrada de nuevo producto al tacho se muestra de nuevo el valor del proceso permitiendo así un control más rápido.

La configuración y calibración del equipo MicroPolar Brix se hace totalmente sin necesidad de un PC externo. La toma de muestras se puede hacer aleatoriamente, sin necesidad de grabaciones manuales. Los valores de laboratorio se ingresan de manera sencilla y el cálculo de la ecuación de regresión la hace automáticamente el equipo

### ***(B) Los sensores de microondas***

Hay varias versiones de sensores:

1. Sensor de inserción sin dispositivo de limpieza, con PT100 integrada.

Fig 3



2. Sensor de spool para montaje en tuberías

Fig. 4





La capacidad especial de estos sensores, comparados con otro, es la de enfocar el campo de microondas. La onda solo se irradia en la dirección del receptor opuesto, de esta forma se reduce cualquier disturbio debido a cambios en el entorno.

En cuanto al sensor con elementos de limpieza incluidos que se usa en tachos continuos y tanques con presencia permanente del producto, la pequeña cantidad de fluido limpiador no tiene influencia en el proceso de cristalización. Además la señal se recupera rápidamente (segundos), asegurando un control seguro del proceso. Los sensores de inserción están disponibles en varios tipos y tamaños de flanges, fácilmente intercambiables cuando se compara con otros sistemas.

Los sensores de inserción con elementos de limpieza o flushing se usan en evaporadores y tachos continuos. El sensor estándar sin limpieza se usa en tachos a batch. Los sensores para instalar en tuberías se usa en procesos de cristalización continua..

La celda o sensor de medición para tuberías (figura 4) tiene un Liner o recubrimiento interno en PTFE, sin ninguna protuberancia en el interior. Su construcción garantiza una alta resistencia a la abrasión, como la que se puede darse en la medición de la concentración de lechada de cal en grados Baumé.

Ejemplos prácticos en la industria azucarera

Los instrumentos de microondas de Berthold han sido usados exitosamente en varias aplicaciones estándar y especiales. Estas aplicaciones estándar incluyen aplicaciones en tachos a batch y continuos, evaporadores, tuberías con jugo diluido,, jugo crudo, melaza, meladuras.

En aplicaciones estándar se logran precisiones de hasta 0,2%,. En los siguientes párrafos se describen dos aplicaciones especializadas.

### ***Aplicaciones Especiales***

No sólo se puede determinar el contenido de agua en jugos, mieles y melazas con los equipos Micro Polar de Berthold, hay una gran cantidad de otras aplicaciones que se pueden resolver con microondas. Básicamente la física es la misma, tenemos el componente agua con un gran efecto en la medición de microondas y un segundo componente con una interacción considerablemente menor

Ejemplos de este tipo de mediciones es la medición de material sólido en la lechada de cal y la medición de humedad en azúcar cristalizada

### **Medición de la humedad del azúcar**

El contenido de humedad en los cristales de azúcar debe ser controlado justo antes de que el azúcar entre al filtro de formación que se usa en la producción de cubos de azúcar. La adición de agua es controlada mediante el uso de equipos Berthold para la medición de humedad. En este caso la adición de agua antes del punto de medición de la humedad. Una medición precisa de la humedad es crucial para la calidad de los cubos de azúcar.

La figura 5 muestra el instrumento de medición. La antena de microondas se instalada en el chute de medida. El azúcar se acumula en este chute en el proceso y de esta forma el campo de microondas es copado totalmente por el azúcar.



Fig. 5 – Medición de la humedad del azúcar

La figura 6 muestra la comparación entre la medición de laboratorio y el equipo BERTHOLD. Se logra una precisión de 0.05 %. Con la cual se garantiza la alta calidad aún sin compensación en la instalación.

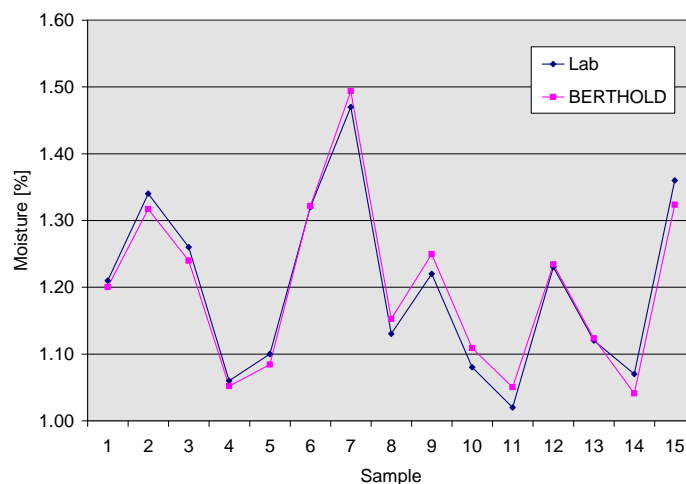


Fig6- Resultado de las medidas de laboratorio y del equipo BERTHOLD

### **Medición de materia extraña en la lechada de cal**

El jugo crudo debe ser separado de otros contenidos o sustancias extrañas. Estas sustancias extrañas son precipitadas por medio de la adición de lechada de cal. La lechada de cal de aproximadamente 21° Baumé, debe ser tan constante como sea posible y se obtiene mediante el procedimiento mostrado en la figura 7:

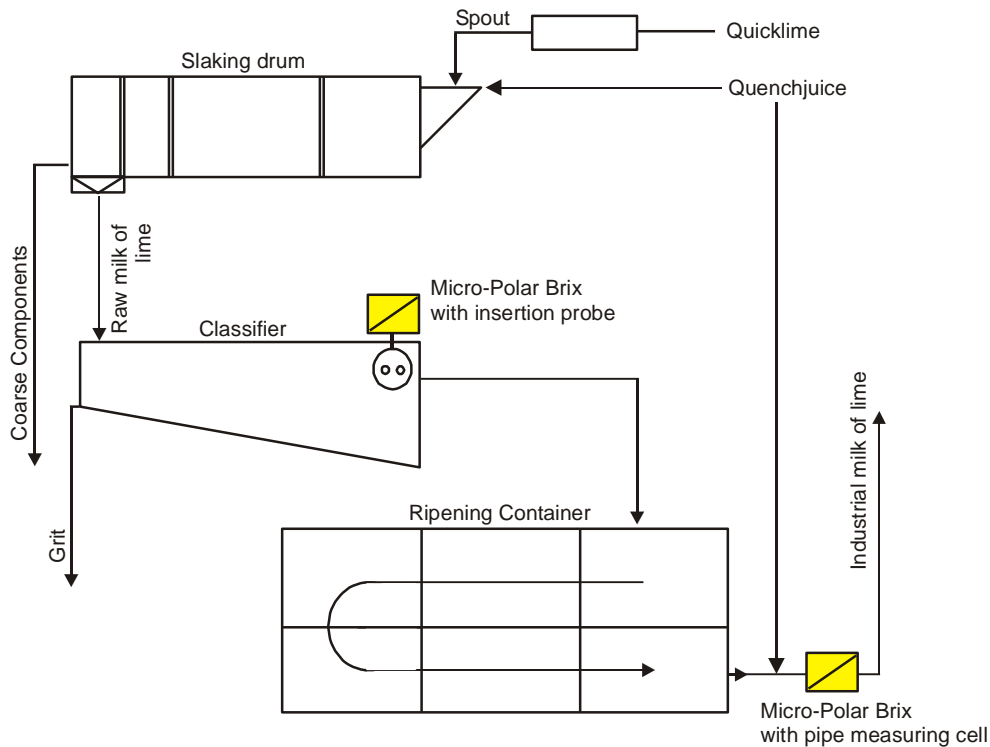


Fig. 7 – Secuencia de la producción de lechada de cal

La lechada rápida o liviana de cal (quicklime) que proviene del horno de cal, se envía a un tambor de apagado (slaking drum) en el cual se mezcla con el jugo para sacar una lechada de cal cruda (raw milk of lime). Después de la separación de los componentes grandes, el líquido entra a un clasificador en el cual se lleva a cabo la sedimentación final de la materia extraña.

Por medio de la medición de microondas instalada en el clasificador (sensor de inserción, ver figuras 8 y 9), se evitan los largos tiempos de reacción y se regula la Concentración de la lechada cruda regulando a un valor de aproximadamente 22.5° Baumé mediante la variación de la adición de lechada rápida. La precisión de la medición es de 0,15° Baumé para esta aplicación

La descarga del clasificador se hace al contenedor de lechada de cal, el cual consiste de varias cámaras consecutivas entre sí. La lechada de cal se extrae con una Concentración de 22.5° Baumé aproximadamente y se mide por un Sistema de microondas posterior y se regula mediante la

adición de jugo a la lechada de cal industrial. Aquí la precisión de la medición por microondas puede ser hasta de 0.1° Baumé

Generalmente la celda de medición en tuberías se usa para la medición de concentración de lechada de cal industrial. La celda de medición se integra a a la línea como un pedazo de tubería con diámetros nominales de 2" ó 3" de diámetro.



Fig. 8 – Instalación para medición de lechada



Fig. 9 – Inserción de la probeta en el clasificador

## Sumario

La técnica de medición por microondas para la determinación de sustancia seca ha logrado una gran aceptación en la industria azucarera en los últimos años. El trabajo pionero de Berthold Technologies ha contribuido considerablemente a este reconocimiento. Las primeras mediciones con microondas se hicieron en la zafra de 1997 en la fábrica Jülich, Germany en tachos para azúcar refinada y azúcar cruda.

La técnica de medición de microondas ofrece una medición muy exacta y confiable de la concentración en todas las áreas de un ingenio azucarero debido a sus características físicas que han sido especificadas junto con eficientes sistemas de microondas. Su uso no limitado a aplicaciones estándar como evaporadores y tachos sino que hay un número creciente de aplicaciones especializadas como medición de la concentración de lechada de cal, medición de la humedad de producto terminado

Berthold Technologies ha estado activa en la industria del azúcar por más de 35 años. El conocimiento y la experiencia de estos años forman la base de los equipos Micro-Polar Brix. Los cuales han probado su éxito en una variedad de aplicaciones y ofrecen una medida precisa y confiable usando la ingeniería de microondas más confiable y ofreciendo una operación segura y simple.

Acerca de los posibles efectos dañinos de las microondas para los operarios, podemos asegurar que la instalación de microondas de muy baja energía no tiene efectos dañinos sobre el cuerpo humano; es mucho menor la energía de nuestros equipos que la de un horno microondas o un celular.

Nuestros equipos MicroPolar Brix tienen licencias aprobadas por la FCC (Federal Communications Commission) y ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

## **REFERENCIAS**

**Klute, U.**(2006). Microwave measuring procedure during the sugar extraction. SIT, 65, paper 912

**Mitchell, G.E. and Springer, H.K.** (2006). Evaluation of Berthold Technologies microwave probe. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass., 80: 365-367