



Instituto
Nacional
de Tecnología
Industrial

Cuadernillo para
unidades de producción

Medición de volumen de leche cruda en tambo

Buenas Prácticas de
diseño, calibración,
mantenimiento y
operación de equipos
de medición.





CUADERNILLO PARA UNIDADES DE PRODUCCIÓN
Material de distribución gratuita

MEDICIÓN DE VOLUMEN DE LECHE CRUDA EN TAMBO

Buenas Prácticas de diseño, calibración, mantenimiento y operación de equipos de medición.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial





Rubino, Guillermo

Medición de volumen de leche cruda en tambo. Cuadernillos para la producción : Buenas prácticas de diseño, calibración, mantenimiento y operación de equipos de medición / Guillermo Rubino y Leandro Vaudagna ; con colaboración de Mauricio Alberini ; Adrián Dünky ; Diego Soltermann. - 1a ed. - San Martín : Inst. Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2011. 36 p. ; 30x21 cm.

ISBN 978-950-532-169-8

1. Producción Lechera. I. Vaudagna, Leandro II. Alberini, Mauricio, colab. III. Dünky, Adrián, colab. IV. Soltermann, Diego, colab. V. Título
CDD 663.64

Fecha de catalogación: 25/11/2011

SE TERMINÓ DE IMPRIMIR EN LOS TALLERES DE LOGRO PRODUCCIONES S.A., EN LA CIUDAD DE SUNCHALES, EN EL MES DE DICIEMBRE DE 2011 Y LA TIRADA CONSTA DE 1000 EJEMPLARES.





Índice

1.	INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO.....	pag. 6
2.	MEDICIÓN EN TANQUE REFRIGERADOR DE LECHE A GRANEL O ENFRIADOR.....	pag. 7
2.1	GENERALIDADES.....	pag. 7
2.2	ERROR MÁXIMO ADMISIBLE (EMA).....	pag. 10
2.3	CONSIDERACIONES DE DISEÑO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	pag. 10
2.4	CALIBRACIÓN.....	pag. 12
2.5	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VOLUMEN DE LECHE DIRECTAMENTE EN ENFRIADOR.....	pag. 14
2.6	ERRORES EN LAS MEDICIONES.....	pag. 15
	LECHE EN AGITACIÓN.....	pag. 15
	ESPUMA EN LA SUPERFICIE DE LA LECHE.....	pag. 15
	FORMACIÓN DE HIELO EN EL FONDO DEL ENFRIADOR.....	pag. 15
	RECOLECCIÓN INCOMPLETA.....	pag. 16
	INCORRECTA UBICACIÓN DE LA REGLA.....	pag. 16
	ERRORES EN EL USO DE LA TABLA DE CALIBRACIÓN.....	pag. 16
3.	MEDICIÓN CON SISTEMA BASADO EN CAUDALÍMETRO INSTALADO EN CAMIÓN.....	pag. 17
3.1	GENERALIDADES.....	pag. 17
3.2	ERROR MÁXIMO ADMISIBLE (EMA).....	pag. 19
3.3	CONSIDERACIONES DE DISEÑO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	pag. 19
3.4	CALIBRACIÓN.....	pag. 19
3.5	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.....	pag. 19
3.6	ERRORES EN LAS MEDICIONES.....	pag. 21
	ENTRADA DE AIRE AL SISTEMA.....	pag. 21
	VOLUMEN DE LLENADO DEL SISTEMA.....	pag. 21
	INCORRECTA OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	pag. 21
	LECHE EN MANGUERAS.....	pag. 22
	ERRORES DEL CAUDALÍMETRO.....	pag. 22
	ERRORES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	pag. 22
	INCORRECTO DESEMPEÑO DEL DESAIREADOR.....	pag. 22
4.	RESUMEN.....	pag. 23
5.	SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	pag. 23
6.	REFERENCIAS.....	pag. 24
	APÉNDICE 1.....	pag. 24
	APÉNDICE 2.....	pag. 31





1. Introducción y Contexto.

En la República Argentina, los tambos producen y transfieren anualmente a la industria láctea alrededor de 10 000 millones de litros de leche cruda. La mayor parte de su producción e industrialización se concentra en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires.

La transacción comercial es definida por dos variables: el precio del litro de leche cruda y el volumen transferido del tambo a la industria. A través de distintos acuerdos generados entre productores e industrias, se han definido mecanismos que fijan el precio del litro de la leche, tomando como base las cualidades del producto entregado por el productor. En este sentido, por Resolución Conjunta 739/2011 y 495/2011 del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca y el Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, se creó el **Sistema de Pago de la Leche Cruda sobre la base de Atributos de Calidad Composicional e Higiénico-Sanitarios en Sistema de Liquidación Unica, Mensual, Obligatoria y Universal**.

En el presente documento se aborda la temática relacionada con la forma en la cual se determina la cantidad de leche comercializada aportando, desde un enfoque netamente metrológico, las herramientas necesarias para evitar controversias entre las partes involucradas en el proceso de la comercialización. Es por ello que se intenta establecer una base técnica que permita asegurar la calidad en las mediciones, centrando la atención en el diseño de los equipos y las técnicas de medición y calibración. Este trabajo está dirigido a aquellas personas que utilizan, mantienen, calibran, fabrican y diseñan los instrumentos de medición de volumen de leche.

CONSIDERACIONES GENERALES.

Los sistemas de medición de volumen de leche cruda en tambo utilizados en el país son diversos. En la actualidad, el sistema de medición en tanque enfriador es uno de los más utilizados. Sin embargo, los sistemas de medición dinámicos, basados en caudalímetros, están cobrando mayor relevancia.

Las mediciones se llevan a cabo en el tambo y en la industria láctea. El primero de los casos es fundamental puesto que define el volumen de leche entregado por cada tambo, determinando de esta forma la transacción comercial.

Como la medición realizada en la industria láctea incluye el total de leche transportada por el camión cisterna, se torna imposible discriminar el volumen aportado por cada tambo. Esta medición solo es utilizada para ser comparada con la suma de los valores parciales obtenidos en cada lugar.

Por lo expresado anteriormente, sólo se analizarán los métodos de calibración y medición de los equipos y los instrumentos utilizados en el tambo. El análisis de los equipos destinados a la medición de volumen de leche en la industria láctea merece un análisis particular, el cual no se encuentra desarrollado en el presente documento.





2. Medición en tanque refrigerador de leche a granel o enfriador.

2.1. GENERALIDADES.

Los llamados tanques refrigeradores de leche a granel, también denominados enfriadores de leche, son tanques de almacenamiento de leche cruda, aislados térmicamente, que poseen un equipo de refrigeración cuya función es enfriar y mantener refrigerada la leche cruda desde el momento del ordeño hasta su recolección por parte del transportista.

Además de la función mencionada, en numerosas oportunidades los enfriadores de leche son utilizados para cuantificar el volumen contenido en los mismos, por lo que pasan a constituir un instrumento de medición. En este documento se analizarán los aspectos de diseño de los enfriadores de leche relacionados a la medición de volumen.

Los lineamientos de diseño y ensayo de un tanque refrigerador de leche a granel, se encuentran explicitados en la Norma IRAM 8043:1989.

En la (Figura 1), se observa un tanque enfriador de leche típico, y se describen sus componentes principales.

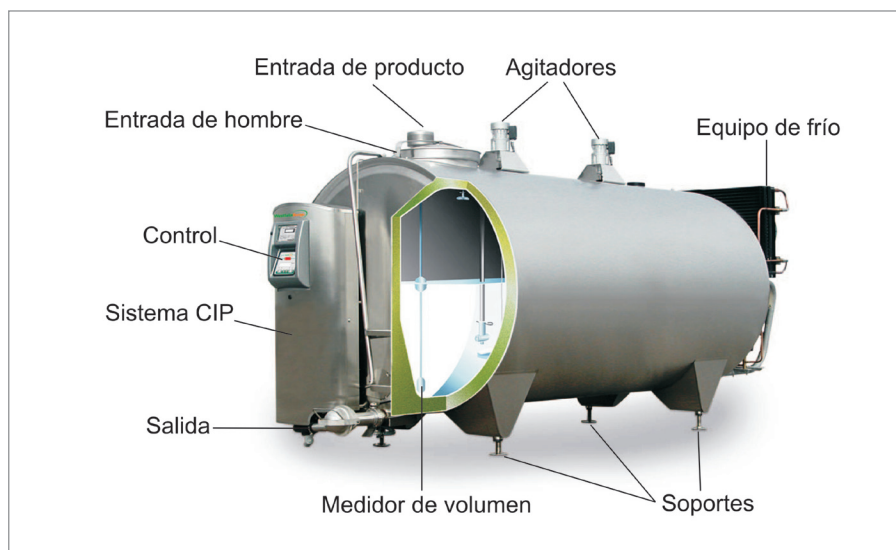


Figura 1. Tanque enfriador de leche.



El volumen contenido por un tanque enfriador de leche se determina a través de la medición de nivel del producto que contiene.

Los tanques enfriadores pueden clasificarse según los siguientes criterios:

- a) **Según su forma y posición:**
 - Tanque cilíndrico vertical
 - Tanque cilíndrico o elíptico horizontal
 - Paralelepípedo
- b) **Según la ubicación de la regla de medición:**
 - Tanque con regla externa
 - Tanque con regla interna extraíble
- c) **Según la lectura sobre la regla:**
 - Lectura en unidades de longitud (con tabla de conversión)
 - Lectura directa en unidades de volumen
- d) **Según la intervención del operador:**
 - Lectura automática (sin intervención del operador)
 - Lectura no automática



Figura 2. Tanque cilíndrico vertical.

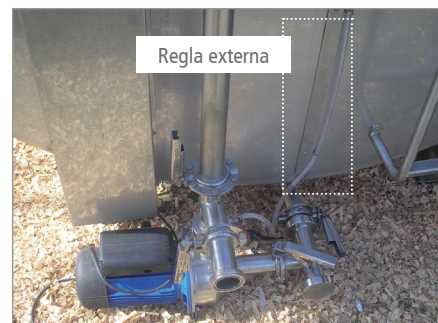


Figura 3. Tanque con regla externa.



Figura 4. Tanque cilíndrico horizontal.



Figura 5. Tanque con regla interna extraíble y regla.



En relación a las variantes descritas anteriormente, es necesario dotar al enfriador de una serie de elementos auxiliares que garanticen una correcta medición del volumen contenido.

SISTEMA DE MEDICIÓN EN TANQUE ENFRIADOR	ELEMENTOS AUXILIARES NECESARIOS PARA UNA CORRECTA DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN CONTENIDO
Tanque enfriador con regla interna graduada en unidades de longitud	• Soporte para ubicación de regla en tanque. • Regla graduada correctamente identificada. • Tabla de calibración. • Sistema que permita verificar la correcta nivelación del tanque enfriador.
Tanque enfriador con regla interna graduada en unidades de volumen	• Soporte para ubicación de regla en tanque. • Regla graduada correctamente identificada. • Sistema que permita verificar la correcta nivelación del tanque enfriador.
Tanque enfriador con regla externa graduada en unidades de longitud	• Tabla de calibración. • Sistema que permita verificar la correcta nivelación del tanque enfriador.
Tanque enfriador con regla externa graduada en unidades de volumen	• Sistema que permita verificar la correcta nivelación del tanque enfriador.
Tanque enfriador con indicación de volumen digital	• Sistema que permita verificar la correcta nivelación del tanque enfriador.

Además, los elementos auxiliares deben cumplir con los siguientes requisitos:

ELEMENTO	REQUISITO
Regla	• Identificación unívoca e indeleble que la vincule al tanque enfriador. • Grabado bajo relieve o sobre relieve de la escala de medición. • Valores expresados en unidades del SI (Sistema Internacional de Unidades). • Soporte para anclaje en tanque enfriador.
Soporte para regla en tanque	• Identificado correctamente. • Debe poder utilizarse de una única forma. • No debe ser susceptible de desgaste prematuro.
Tabla de calibración	• Relación distancia / volumen. • Rango del 10 al 100 % del volumen nominal del enfriador. • Temperatura de referencia. • Incertidumbre de calibración. • Fecha de calibración. • Identificación de la regla y del tanque enfriador. • Debe ser de fácil interpretación.
Sistema de nivelación	• Correctamente identificado. • Sensibilidad de 1:1000.





2.2. ERROR MÁXIMO ADMISIBLE (EMA).

Es el error máximo que el medidor no debe exceder cuando se encuentra en condiciones de operación. A modo de ejemplo se describen los EMA sugeridos por la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) y en reglamentaciones de otros países:

PAÍS	ERROR MÁXIMO ADMISIBLE
Recomendación OIML - R71:2008	• 0,2 % del volumen contenido para tanques cilíndricos verticales. • 0,3% del volumen contenido en tanques horizontales o tanques cilíndricos inclinados. • 0,5 % del volumen contenido para otro tipo de tanques.
NIST Handbook 44 - Section 4.42 Farm Milk Tanks (EEUU)	• 0,4% del volumen contenido en el tanque.
Legislación Canadiense	• 0,4% del volumen contenido en el tanque.
Argentina - Resolución N° 199/04 de la Secretaría de Coordinación Técnica (suspendida su entrada en vigencia).	• Incertidumbre máxima de calibración de 0,3 % del volumen indicado. No se especifica un EMA, dado que en cada calibración se confecciona una nueva tabla de conversión suponiendo al error nulo.

2.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO.

2.3.1. Soporte de la regla de medición.

El fabricante del enfriador debe garantizar que el lugar y la forma de ubicación de la regla de medición se encuentren inequívocamente identificados. Además, debe garantizar que no se produzca desgaste entre la regla y su soporte, esta situación cobra mayor relevancia en el caso de los tanques construidos en PRFV. El valor del error cometido por esta causa es proporcional al corrimiento vertical que puede afectar a la regla de medición.

2.3.2. Deformaciones del tanque.

El tanque del enfriador debe ser de construcción lo suficientemente rígida como para asegurar que no se deforme al llenarse de líquido o por el paso del tiempo. Este último aspecto es más crítico en tanques de PRFV. Uno de los puntos más importantes a tener en cuenta en el diseño es la cantidad de soporte y la forma en que se fijan al tanque. El valor del error en un tanque susceptible a deformarse es aleatorio y no puede estimarse ninguna tendencia.

2.3.3. Descarga.

El diseño del orificio de descarga debe garantizar que el punto más elevado del interior del mismo, incluida la válvula de descarga, esté ubicado por debajo del fondo de la tina de leche. De esta forma se logra el correcto vaciado del tanque y se previene el ingreso de aire al sistema. La norma IRAM 8043:1989 establece los ensayos de escurrimiento a realizar sobre los tanques (para evacuación por gravedad y evacuación rápida), para garantizar que no ingrese aire al sistema de recolección. El ingreso de aire provoca espuma y en el caso de realizar la medición con caudalímetro en camión, se producen errores groseros de medición.



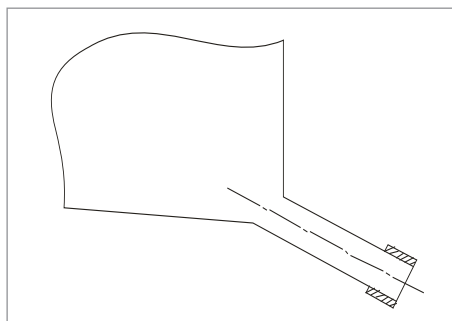


Figura 6. Posición del orificio de descarga del tubo de salida.

2.3.4. Nivelación del tanque refrigerador de leche.

El error generado por una alteración en la nivelación es uno de los principales errores y de mayor cuantía en este tipo de equipos, y se torna más crítico en los enfriadores de tanque horizontal.

Los cambios en la nivelación pueden provocarse por el deterioro en los soportes del enfriador, en el piso sobre el que se encuentra emplazado, o simplemente debido a una intervención voluntaria.

Para asegurar una correcta nivelación, el enfriador debe estar equipado con dos niveles colocados a 90° entre sí, y en forma paralela a la horizontal (Figura 9), o se deben efectuar marcas indelebles a modo de referencias para nivelar utilizando el nivel romano. (Figura 7 y Figura 8).

Se debe garantizar que la nivelación del tanque no sufra variaciones cuando está completamente vacío o completamente lleno. Es recomendable que los soportes (si son ajustables en altura) puedan precintarse después de la nivelación.

El usuario debe realizar controles periódicos sobre el estado de nivelación del tanque.

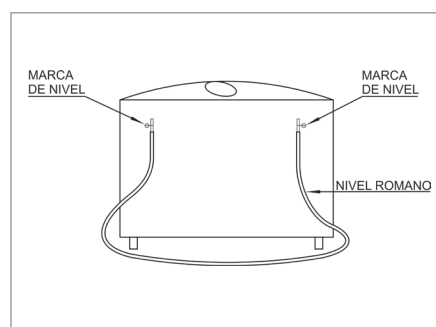


Figura 7. Aplicación del nivel romano.



Figura 9. Nivel de burbuja adosado a un tanque enfriador.





Figura 8. Marca para nivelación en un tanque enfriador.



Figura 10. Estado de nivelación endeble.

El valor del error cometido por una variación en la nivelación es directamente proporcional al valor de la desnivelación y puede estimarse multiplicando la sección horizontal de leche por un medio del desnivel. Por ejemplo, para un tanque cilíndrico horizontal de capacidad máxima 6000 L, cargado al 50 % y cuya sección a la altura del nivel de leche es de 3 m x 2 m, por cada centímetro de desnivel, el error cometido será de:

$$0,5 \times (a \times b) \times h \\ (30 \times 20) \text{ dm}^2 \times 0,1 \text{ dm} \times 0,5 = 30 \text{ L} \\ \text{Error porcentual: 1 \%}$$

2.4. CALIBRACIÓN

Una forma correcta de calibrar los enfriadores de leche es a través del método volumétrico, el cual se realiza trasvasando agua desde un patrón de volumen al tanque bajo calibración.

La periodicidad recomendada de calibración es de cinco años, siempre que se verifique periódicamente la integridad del enfriador según lo expuesto en el apartado 2.3.

En el **Apéndice 1**, se presenta el procedimiento de calibración recomendado.

2.4.1. Errores debidos a procedimientos de calibración inadecuados.

A continuación se enumeran las prácticas detectadas que derivan indefectiblemente en errores de medición, y que deben ser evitadas por fabricantes y usuarios:

- **Tabla de calibración confeccionada por planimetría**

Es una práctica muy común la confección de la tabla de calibración por planimetría. Esto provoca importantes errores en las mediciones por las siguientes causas:





a) **Errores geométricos y dimensionales:** es imposible construir un tanque que reproduzca perfectamente el diseño del plano. En las operaciones de corte, rolado y soldadura se cometen errores, como en todo proceso productivo, que hacen que el producto fabricado presente una serie de errores geométricos y dimensionales que alteran la relación teórica entre el nivel y el volumen de líquido. Estos errores se ven agravados por la ausencia de una temperatura de referencia al momento de generar la planimetría.

b) **Efecto de la tensión superficial:** cuando la leche entra en contacto con la regla de medición, por el efecto de la tensión superficial, la lectura se ve modificada. Este efecto no se tiene en cuenta al momento de realizar una tabla de calibración por planimetría (Figura 11).

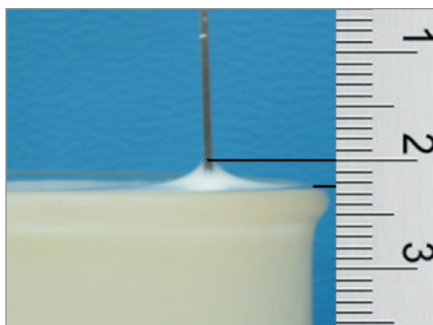


Figura 11. Efecto de la tensión superficial sobre la regla de medición.

- **Incorrecta interpolación de los valores de la tabla de calibración**

Cuando se confecciona la tabla de calibración en base a una calibración realizada con un patrón volumétrico, generalmente se espera obtener una cantidad de divisiones superior a la cantidad de puntos de calibración. Por tal motivo se hace inevitable recurrir a la interpolación. A excepción del caso de los enfriadores cilíndricos verticales, en donde la sección vertical es rectangular o cuadrada, la expresión del volumen en función del nivel de líquido contenido no es lineal, y es indispensable conocer de manera fehaciente la expresión matemática de esta relación. Se han encontrado errores de hasta 40 litros en 3000 litros originados por una incorrecta interpolación de los datos de calibración.

En el **Apéndice 1** se muestra un ejemplo sobre la forma en la cual se confecciona la tabla de calibración.

- **Temperatura de referencia**

Debido a que la leche contenida en el enfriador se debe conservar aproximadamente a 4 °C, y como el volumen del tanque varía en función de la temperatura (dilatación del material por temperatura), la tabla de calibración debe ser confeccionada para una temperatura de referencia igual a la del uso (4 °C). Normalmente la temperatura





del agua utilizada durante la calibración no es igual a la de referencia, y los resultados de la calibración deben ser corregidos utilizando el coeficiente de contracción térmica del material con el cual está construido el tanque del enfriador. Si la corrección no es realizada, se pueden llegar a cometer errores del orden de 0,1%.

2.5. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VOLUMEN DE LECHE DIRECTAMENTE EN ENFRIADOR.

Los comentarios aquí expuestos son generalidades y se aplican a todos los principios de medición.

- a) Realizar la medición de volumen antes de la agitación. En el caso de que la leche esté en agitación, esperar al menos 10 minutos desde que se ha detenido el agitador.
- b) Ubicar la regla en su soporte, asegurando que no se generen oleajes y que no queden rastros de espuma en las inmediaciones. La regla debe introducirse en el líquido en forma perpendicular a su superficie.
- c) Retirar la regla en forma perpendicular a la superficie del líquido y siempre con movimientos ascendentes.
- d) Observar la marca que deja la leche sobre la regla y realizar la lectura. Nunca se debe sostener la regla en forma invertida. En los casos en que el enfriador está equipado con visor de nivel (manguera), la lectura se debe efectuar sobre la parte inferior del menisco, como lo indica la Figura 12. Para los equipos con indicación electrónica la lectura es directa.
- e) En los casos en que la lectura de la regla se realice en centímetros o milímetros, convertirlos a litros mediante la tabla de calibración.
- f) Registrar el resultado inmediatamente después de realizar la medición.

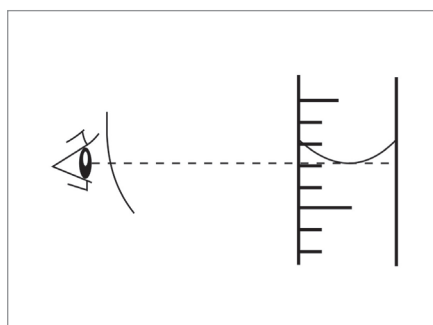


Figura 12. Enrase sobre escala exterior de un tanque enfriador.





2.6. ERRORES EN LAS MEDICIONES.

En el presente apartado se enumeran los errores más frecuentes en la operación de medición en tanque enfriador, éstos deben ser evitados, ya que es prácticamente imposible cuantificarlos con el fin de aplicar correcciones al resultado al resultado de medición obtenido.

• Leche en agitación

Para asegurar la homogeneidad de la leche al momento del muestreo, y tener así una muestra representativa de todo el volumen contenido en el enfriador, se utilizan agitadores a paletas. La agitación de la leche constituye una importante fuente de error en la medición de volumen puesto que la lectura con regla se realiza tomando la marca dejada por la leche sobre la misma. Si hay presencia de oleaje dentro del enfriador, la marca observada corresponderá al nivel de la cresta de las olas. Por lo tanto el volumen leído será siempre mayor al real.



Figura 13. Leche en agitación dentro de un tanque enfriador.



Figura 14. Espuma en la superficie de la leche en tanque enfriador.

• Espuma en la superficie de la leche

La espuma acumulada en la superficie de la leche, contenida en el enfriador, se presenta en forma de islotes con una altura que puede alcanzar unos cuantos centímetros. Si estos islotes de espuma entran en contacto con la regla de medición, se produce el mismo efecto que el de la leche cuando se encuentra en agitación. Este efecto se puede (y se debe) evitar mediante constatación visual al momento de realizar la medición.

• Formación de hielo en el fondo del enfriador

Una mala regulación de la capacidad frigorífica del equipo de frío o un incorrecto funcionamiento del agitador, pueden llegar a congelar la leche en el fondo del enfriador. Este volumen de leche congelada, será contabilizado por el sistema de medición del enfriador, cualquiera sea su principio de medición, pero no podrá ser recolectado por el transporte, lo que conlleva a un error de medición.





- **Recolección incompleta**

El transporte, al momento de hacer la recolección, puede no cargar la totalidad de la leche contenida en el enfriador. En este caso, la medición se puede realizar por las diferencias de indicación en la regla antes y después de la recolección. Si el volumen final contenido en el enfriador es menor a la capacidad mínima de medición del enfriador, la segunda medición no podrá ser realizada por lo cual se estará cometiendo un error similar al ocasionado por el congelamiento de la leche en el fondo del enfriador.

- **Incorrecta ubicación de la regla**

La correcta fijación de la regla al momento de la medición es de fundamental importancia. El sitio en el cual se debe colocar la regla debe estar identificado de manera inequívoca y hay que asegurarse de que la misma permanezca en posición perfectamente vertical durante toda la operación de medición.

- **Errores en el uso de la tabla de calibración**

La tabla de calibración no es más que una tabla de equivalencia entre el nivel de leche en el enfriador, medido con regla, y el volumen que éste representa. El incorrecto uso de la tabla, genera errores groseros que son difíciles de cuantificar y normalmente imposibles de corregir una vez que la medición se ha realizado y la leche fue recolectada.





3. Medición con sistema basado en caudalímetro instalado en camión.

3.1. GENERALIDADES

Estos sistemas, también denominados Sistemas de Medición Dinámicos de Volumen de Leche, en los últimos años fueron impulsados desde la industria y han adquirido una mayor presencia en el sector. Estos sistemas son instalados en los chasis de los camiones cisternas y son propiedad del transportista o de la industria láctea. El control metrológico y su mantenimiento, en general, son realizados por la industria láctea. A continuación se pueden apreciar dos modelos comerciales de este tipo de equipamiento.



Figura 15. Sistema de medición con caudalímetro, muestreador e impresora.

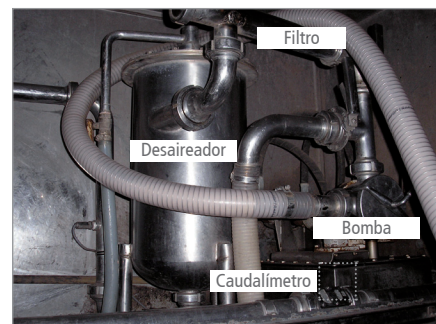
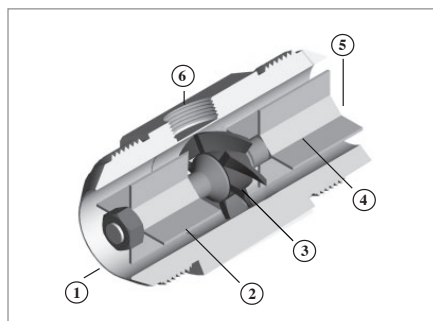


Figura 16. Sistema de medición con caudalímetro.

Para garantizar el correcto funcionamiento, es necesario que el sistema de medición de volumen cuente con los siguientes componentes básicos:

- **Bomba de aspiración:** en los camiones habitualmente se utiliza una bomba de desplazamiento positivo que tiene la función de aspirar la leche contenida en el tanque enfriador y enviarla a través del sistema de medición hacia la cisterna del camión de transporte.
- **Filtro:** su función es eliminar las partículas sólidas que puedan filtrarse junto con la leche y dañar al caudalímetro.
- **Caudalímetro:** determina el volumen de leche que lo atraviesa. Los más utilizados son los del tipo "a turbina" y "magneto inductivo". El principio de funcionamiento de los caudalímetros a turbina (Figura 17) se basa en la rotación de una turbina que es impulsada por el flujo de leche a través de un conducto. La turbina cuenta con uno o varios imanes ubicados de manera tal que cuando giran, generan pulsos sobre un sensor externo (pick-up). La cantidad de pulsos captados es directamente proporcional al volumen de fluido desplazado.





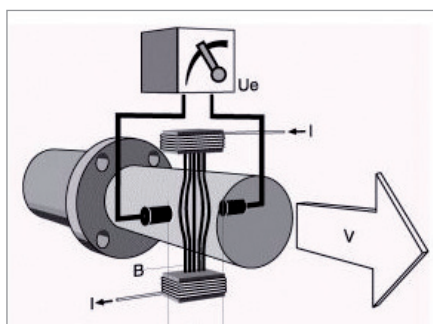
1. Entrada de flujo
 2. Enderezador de flujo
 3. Turbina
 4. Enderezador de flujo
 5. Salida de flujo
 6. Captador de pulsos (pick-up).
- El volumen es proporcional a la cantidad de pulsos captados.

Figura 17. Esquema caudalímetro a turbina.

$$\text{Volumen} = k \times n$$

Donde: k = constante del caudalímetro
 n = numero de pulsos

Por otro lado, el funcionamiento de los caudalímetros del tipo magneto-inductivo Figura 18, se basa en la ley de inducción electromagnética de Faraday². El líquido (conductor) se desplaza dentro de un campo magnético inducido por una bobina. En consecuencia, se induce sobre éste una fuerza electromotriz que es captada por dos electrodos ubicados lateralmente sobre el conducto. La fuerza electromotriz inducida es proporcional a la velocidad del flujo y por lo tanto al caudal. La principal ventaja de este tipo de instrumentos es que no posee partes móviles por lo cual está exento de daños provocados por elementos extraños contenidos en el fluido.



$$\text{Volumen} = \text{Caudal} \times \text{tiempo}$$

Figura 18. Esquema caudalímetro magneto inductivo.

² La Ley de Faraday establece que la corriente inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que lo atraviesa.



- **Desaireador:** su función es eliminar el aire que puede ingresar junto con la leche. El caudalímetro interpreta que la leche que pasa a través de su sección no contiene aire y el volumen es calculado suponiendo que se cumple con esa condición. Por ese motivo debe utilizarse un desaireador que elimine toda burbuja de aire que pueda contener la leche. Un desaireador debe tener la capacidad de eliminar hasta un 30% del aire contenido en la leche, y puede dejar pasar hasta un 1% de aire.
- **Indicador:** muestra el volumen de leche cargado por el camión. También puede tener la opción de guardar esos datos en una memoria, para ser descargados una vez que llega al destino.

3.2. ERROR MÁXIMO ADMISIBLE (EMA)

En la República Argentina no se han establecido tolerancias legales para estos sistemas de medición. En este sentido el INTI ha elaborado una propuesta de reglamentación aplicable a sistemas de medición dinámicos para líquidos distintos del agua, en la cual se encuadran los sistemas dinámicos de medición de leche.

Según la recomendación internacional OIML R 117-1 Edición 2007, el error máximo tolerado para este sistema de medición estando en servicio es de $\pm 0,5\%$. Algunos países tales como Estados Unidos, Canadá y Nueva Zelanda, han establecido una tolerancia de $\pm 0,3\%$.

3.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para garantizar un óptimo funcionamiento del sistema de medición, las características funcionales y de diseño de cada componente deben cumplimentar los requisitos establecidos en la recomendación internacional OIML R117:2007 "Dynamic measuring systems for liquids other than water".

El mantenimiento de la bomba, sellos, válvulas y filtro debe ser efectuado periódicamente por personal calificado.

Si se realiza mantenimiento correctivo sobre los componentes críticos del sistema de medición (caudalímetro, indicador, cableado), es necesario realizar una nueva calibración del sistema antes de su entrada en servicio.

3.4. CALIBRACIÓN

La calibración de un sistema de medición de volumen de leche debe realizarse de forma tal que se analicen todos sus componentes. Es por esa razón que la calibración debe hacerse mediante el empleo de patrones de volumen.

No se recomienda calibrar el caudalímetro de forma aislada, debido a que el funcionamiento del resto del sistema (desaireador, bomba, etc) influye en la medición de volumen al dejar pasar más o menos aire.





Para que todos los componentes del sistema tengan un comportamiento totalmente funcional durante el proceso de calibración, debe ejecutarse la misma utilizando la leche a la temperatura de recolección (entre 4°C y 8°C). Vale aclarar que a diferencia del agua, la leche posee una gran capacidad de generar espuma, razón fundamental por la cual se debe utilizar este fluido para calibrar y caracterizar correctamente el funcionamiento del sistema.

En el **Apéndice 2**, se presenta el procedimiento de calibración de un sistema de medición de volumen de leche (basado en caudalímetro), montado en camión.

3.5. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

- a) En la primera recolección, asegurarse de que tanto las cisternas, como todo el sistema de medición (incluidas las mangueras), se encuentren totalmente exentos de agua del lavado.
- b) Desplegar la manguera y conectarla a la descarga del tanque enfriador, verificando previamente la integridad del sello de goma. La tuerca de acoplamiento se debe ajustar con la llave apropiada para tal fin y no a mano.
- c) Abrir la válvula de descarga del tanque enfriador y comprobar la ausencia de pérdidas de leche a través del sello. Una pérdida de leche en ese momento, por pequeña que sea, se traducirá en un ingreso de aire al sistema en el momento de la recolección.
- d) Si el desaireador cuenta con una válvula en su circuito de descarga, asegurarse de que ésta se encuentre abierta, de lo contrario el desaireador no cumplirá su función.
- e) Poner a cero la indicación del sistema de medición, o registrar el valor indicado y habilitar la medición.
- f) Accionar las válvulas del sistema correspondientes al modo de carga, poner en marcha la bomba y completar la recolección hasta vaciar completamente el tanque enfriador. Comprobar esto último en forma visual.
- g) Desacoplar la manguera y enrollarla.
- h) Detener la bomba.
- i) Registrar la lectura del indicador digital.
- j) Solo para la primera carga se deberá adicionar a la medición el volumen correspondiente al llenado del sistema de medición, en caso de que el equipo no lo realice en forma automática.





3.6. ERRORES EN LAS MEDICIONES.

3.6.1. Atribuibles a la operación de medición:

- **Entrada de aire al sistema**

Los caudalímetros utilizados en este caso, independientemente de su principio de funcionamiento, son del tipo volumétrico, por lo tanto, si existe un ingreso de aire al sistema de medición, éste será contabilizado como líquido.

Los ingresos de aire al sistema se pueden ocasionar por el mal estado de los sellos de acople utilizados en cualquier punto de la etapa de baja presión del sistema. Los puntos más importantes a verificar son el sello de acople ubicado entre la manguera de recolección y la descarga del tanque enfriador, los sellos del eje y la tapa de la bomba de succión y las válvulas.

El desaireador incorporado al sistema de medición sólo tiene capacidad para separar y eliminar el aire que viene en grandes cantidades al inicio y en la finalización de la operación de medición, no siendo efectivo para eliminar las entradas permanentes de aire, tales como las que se dan por rotura o mal estado de los sellos en la zona de baja presión del circuito.

- **Volumen de llenado del sistema**

Cuando se pone en operación un sistema de medición (primera carga), éste se encuentra completamente vacío y su llenado insume una cantidad determinada de leche, la cual no es contabilizada por el caudalímetro. Una vez que se ha llenado el sistema de medición, en las sucesivas cargas se contabilizará la totalidad de la leche recolectada.

El volumen de llenado del sistema de medición debe ser correctamente cuantificado y sumado a la primera medición. Este volumen deberá estar grabado en la placa de características metrológicas del sistema de medición.

- **Incorrecta operación del sistema**

Existen en el mercado sistemas de medición con diferentes grados de automatización, cuanto menos automatizado esté un sistema de medición será más propenso a sufrir errores de operación. Los sistemas de medición deben ser aptos para las operaciones de carga (medición de volumen en tambo), descarga, trasvase y limpieza (CIP). Cuando la conmutación de un modo a otro se obtiene por la operación manual de las válvulas, pueden cometerse errores por descuido o falta de capacitación del operador. Ejemplos de estos errores pueden ser: dejar las válvulas abiertas innecesariamente, por donde ingresa aire al sistema, olvidar la válvula de descarga del desaireador cerrada, con lo cual este dispositivo queda anulado en su función.





- **Leche en mangueras**

Para una correcta operación de medición se debe recoger en forma completa la manguera de carga, asegurando que la leche contenida en ésta, sea succionada por el sistema. Es conveniente para este fin el uso de mangueras transparentes.

3.6.2. Atribuibles al equipo de medición:

- **Errores del caudalímetro**

El caudalímetro es una componente fundamental del sistema de medición. Este instrumento de medición, al igual que cualquier otro, presenta errores sistemáticos y aleatorios que definen su exactitud y repetibilidad. Normalmente, la característica más importante de un caudalímetro es su error aleatorio puesto que éste no es ajustable. Los errores aleatorios típicos en caudalímetros usados en la medición de volumen de leche se encuentran comprendidos entre 0,1 % y 0,25 %.

La recomendación internacional OIML R117:2007 fija un EMA para el caudalímetro, evaluado de forma aislada, de 0,3 %. Este error debe determinarse por única vez antes de su entrada en servicio. Una vez que el sistema ha comenzado a operar, no es necesario verificarlo ya que directamente se determina el error del sistema de medición completo.

- **Errores del sistema de medición**

Todo lo expuesto para el caudalímetro, analizado como elemento aislado, aplica al sistema de medición completo. En este caso, el EMA fijado por la OIML R117:2007 es de 0,5 %. La calibración del sistema completo se realiza mediante el empleo de un patrón de volumen, el cuál debe cumplir con los requisitos fijados en la reglamentación N° 197 de Ministerio de Comercio e Intereses Marítimos, que regula los aspectos constructivos de dichos patrones. La recomendación OIML R 120:1996 también brinda una guía sobre los aspectos constructivos más importantes de estos patrones.

Para asegurar que la calibración sea representativa de las condiciones de medición del sistema, el fluido de calibración debe ser el mismo que el fluido de medición y en las mismas condiciones de operación (temperatura y caudal).

- **Incorrecto desempeño del desaireador**

En la medición de líquidos espumantes como la leche o la cerveza, el desaireador constituye un componente fundamental del sistema de medición. Éste debe tener la capacidad de recibir hasta un 30% de aire junto con el fluido a medir, y no debe dejar pasar más del 1%. Un incorrecto diseño, dimensionamiento, o funcionamiento de este elemento puede invalidar la utilidad del sistema de medición.





4. Resumen

Se han presentado hasta aquí los sistemas utilizados en la actualidad para la medición de volumen de leche en tambo. A continuación, a modo de conclusión, se presentan las principales características de cada uno de ellos:

TOLERANCIA TÍPICA	MEDICIÓN DE VOLUMEN EN TANQUE ENFRIADOR DE LECHE	SISTEMA DE MEDICIÓN BASADO EN CAUDALÍMETRO
Propietario	Tambero	Industria láctea o transportista
Estabilidad temporal	Muy buena	Buena
Instalación	Fija	Móvil
Principio de funcionamiento	Volumen contenido (estático)	Medición de caudal (dinámico)
Periodo de re-calibración recomendado	5 años	6 meses a 1 año
Resolución de lectura	Mayor a 5 L	1 L
Método de calibración	Volumétrico	Volumétrico
Fluido de calibración	Agua	Leche
Tolerancia	0,5 %	0,3 %
Mantenimiento	Bajo	Medio

5. Siglas y abreviaturas:

- **IRAM:** Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- **SI:** Sistema Internacional de unidades.
- **OIML:** Organización Internacional de Metrología Legal.
- **ISO-GUM:** Guide to the Expression of Uncertainty y Measurement.
- **NIST:** National Institute of Standards and Technology.
- **CIP:** Clean In Place. Sistema de lavado de las superficies interiores de tuberías, depósitos y equipos sin desmontarlos.
- **PRFV:** Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio.





6. Referencias:

- Resolución 199/04 de la Secretaría de Coordinación Técnica.
- Reglamentación N° 197 de Ministerio de Comercio e Intereses Marítimos.
- Norma IRAM 8043:1989.
- Recomendación OIML R71:2008 - Fixed Storage Tanks - General Requirements.
- NIST Handbook 44 - Sec. 4.42 Farm Milk Tanks (EEUU).
- Recomendación OIML R117:2007 - Measuring systems for liquids other than water.
- Recomendación OIML R120:1996 - Standard capacity measures for testing measuring systems for liquid other than water.
- Canadian Guidelines for Farm Tank Installation, Use and Calibration Relative to Measurement 2004/2005. Disponible en línea en:
<http://www.ic.gc.ca/eic/site/mc-mc.nsf/eng/lm04096.html>.
- INTI-Rafaela PE-114- Procedimiento de calibración de tanques fijos.
- INTI-Rafaela PE-119- Procedimiento de calibración de sistemas de medición de volumen de leche.

Apéndice 1

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE TANQUE REFRIGERADOR DE LECHE POR MÉTODO VOLUMÉTRICO.

Para realizar las calibraciones se utilizan los siguientes elementos:

- Patrones de volumen acordes a los requerimientos de la resolución 197/1981 del Ministerio de Comercio e Intereses Marítimos. Su capacidad deberá ser por lo menos un decimo de la capacidad del tanque a calibrar.
- Termómetro con incertidumbre máxima: 0,2 °C.
- Cronómetro
- Agua

Los equipos y patrones intervinientes deben estar metrológicamente confirmados para su uso.

• Condiciones ambientales

Se debe registrar la temperatura ambiente predominante al momento de la calibración. Los límites de temperatura son los establecidos por la hoja de especificaciones del tanque a calibrar.





- **Identificación**

El tanque a calibrar y su regla deben estar correctamente identificados.

- **Control previo a la calibración**

- a) Verificar el correcto estado de las patas y del suelo donde están apoyadas las mismas.
- b) Verificar el correcto estado de la regla de medición, como así también el de su soporte.
- c) Verificar que el tanque tenga un indicador de nivel. En el caso que no tenerlo, utilizar el nivel romano para nivelar el tanque y marcar de forma indeleble los puntos de control.

- **Calibración**

- a) Verificar el nivel con el tanque enfriador de leche vacío.
- b) Llenar el patrón de volumen con agua.
- c) Transferir el agua del patrón al tanque enfriador de leche a calibrar.
- d) Mojar completamente las paredes del tanque a calibrar y vaciarlo.
- e) Una vez que se ha vaciado el tanque, esperar 1 minuto (tiempo de escurrimiento) y cerrar la válvula de salida.
- f) Llenar el patrón de volumen con agua y registrar el volumen de líquido contenido.
- g) Medir la temperatura del agua.
- h) Transferir el agua del patrón al tanque a calibrar, respetando los tiempos de escurrimiento del patrón de volumen (indicado en placa de características metrológicas)
- i) Medir la indicación en el tanque.
- j) Registrar la temperatura del agua en el tanque.
- k) Repetir desde el punto "f" hasta completar el volumen del tanque.
- l) Con el tanque completamente lleno, verificar nuevamente su nivelación.

- **Tratamiento de datos**

El volumen en el tanque debe ser corregido según la siguiente ecuación:

(A1.1)

$$V_T = V_P [1 - \alpha (t_{RP} - t_P) + \beta (t_T - t_R) + \alpha_R (t_{RT} - t_T)]$$





DONDE

V_T :	Volumen en el enfriador
V_P :	Volumen del patrón a la temperatura de referencia
α :	Coeficiente de expansión térmica cúbica del material patrón (este dato se encuentra en la placa de características metrológicas del patrón de volumen)
β :	Coeficiente de expansión térmica cúbica del agua (líquido). Igual a $2,10 \text{ E-4 } 1/^{\circ}\text{C}$
α_R :	Coeficiente de expansión térmica cúbica del material del tanque (este dato debe ser provisto por el fabricante del tanque bajo calibración. Generalmente para acero inoxidable es igual a $5,16 \text{ E-05 } 1/^{\circ}\text{C}$)
t_{RP} :	Temperatura de referencia del patrón (normalmente igual a 20°C , este dato se encuentra en la placa de características metrológicas del patrón de volumen)
t_{RT} :	Temperatura de referencia del enfriador (normalmente igual a 4°C)
t_T :	Temperatura del agua en el enfriador
t_P :	Temperatura del agua en el patrón de volumen

Para confeccionar la tabla de calibración se debe relacionar a través de una curva la indicación de la regla y el volumen de líquido referenciado a 4°C .

Si la forma del tanque es irregular, se puede subdividir la curva para cubrir diferentes rangos de volumen, con la finalidad de obtener un mejor ajuste a la curva real. El ajuste se debe realizar a través del método de mínimos cuadrados.

• Ejemplo de calibración de un enfriador de capacidad máxima 4000 L

Elementos utilizados:

- Patrón de volumen de capacidad igual a 200 L
- Termómetro digital, mínima división $0,1^{\circ}\text{C}$
- Cronómetro
- Datos obtenidos y tratamiento de datos:





CALIBRACIÓN DE TANQUES FIJOS

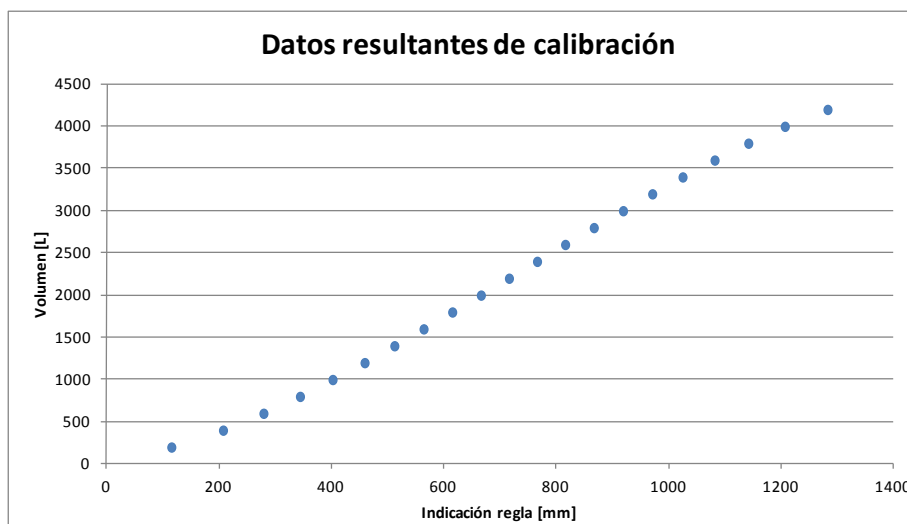
PATRÓN		
Volumen nominal Patron	200	L
Corrección patrón	-0,02	L
Incertidumbre patrón	0,01	L
Coefficiente dilatacion vol patron	5,16E-05	1ºC
Volumen por división	0,1	L
Temperatura de referencia patrón	20,0	ºC
Resolucion lectura	0,1	L
U enrase Patron	0,05	L
TANQUE FIJO		
Coefficiente dilatacion vol tanque fijo	5,16E-05	1ºC
Temperatura de referencia tanque fijo	4,0	ºC
Coefficiente dilatacion cubica agua	2,10E-04	1ºC

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Volcada	Volumen [L]	Temp. Patrón [ºC]	Temp. Tanque [L]	Volumen Corregido Trasbasado [L]	Volumen Total a 4ºC [L]	Ind [mm]
1	200,0	20,5	20,5	199,9	199,9	114
2	200,0	20,8	20,5	199,9	399,7	206
3	200,0	20,8	20,5	199,9	599,6	278
4	200,0	20,7	20,5	199,9	799,4	343
5	200,0	20,8	20,5	199,9	999,3	401
6	200,0	20,6	20,5	199,9	1199,1	458
7	200,0	20,5	20,5	199,9	1399,0	511
8	200,0	20,5	20,5	199,9	1598,9	563
9	200,0	20,7	20,5	199,9	1798,7	614
10	200,0	20,7	20,5	199,9	1998,6	665
11	200,0	20,6	20,5	199,9	2198,4	715
12	200,0	20,6	20,5	199,9	2398,3	765
13	200,0	20,6	20,5	199,9	2598,1	815
14	200,0	20,8	20,5	199,9	2798,0	866
15	200,0	20,7	20,5	199,9	2997,9	918
16	200,0	20,7	20,5	199,9	3197,7	970
17	200,0	20,6	20,5	199,9	3397,6	1024
18	200,0	20,3	20,5	199,9	3597,4	1081
19	200,0	20	20,5	199,9	3797,3	1141
20	200,0	19,8	20,5	199,8	3997,1	1206
21	200,0	20	20,4	199,8	4197,0	1282

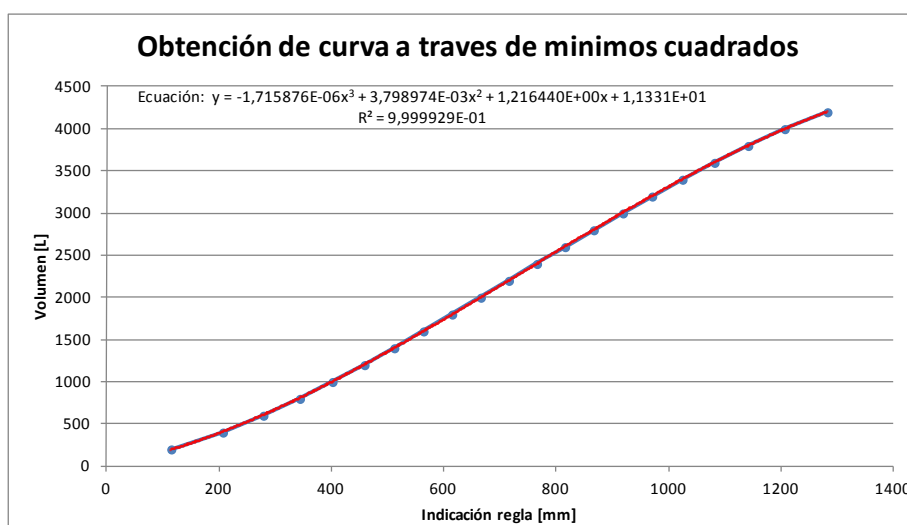


- C1: Número de trasvaso
- C2: Volumen trasvasado sin corregir (obtenido por lectura en patrón de volumen)
- C3: Temperatura del agua en el patrón de volumen
(obtenido por lectura en termómetro durante la calibración)
- C4: Temperatura del agua en el enfriador
(obtenido por lectura en termómetro durante la calibración)
- C5: Volumen corregido de cada trasvaso utilizando la ecuación A1.1 (obtenido por cálculo)
- C6: Volumen total trasvasado en enfriador (obtenido por cálculo)
- C7: Indicación en regla de medición (obtenido por lectura en regla graduada durante la calibración)

Con los datos de las columnas C6 y C7 se confecciona la siguiente gráfica de calibración.



Luego se determina la ecuación a través de mínimos cuadrados





La ecuación obtenida permite confeccionar la tabla de calibración. Ésta es utilizada por el usuario para determinar el volumen de leche contenido en el enfriador en función de la indicación de la regla de medición. A continuación se puede apreciar una muestra de la tabla de calibración calculada para este ejemplo.

mm	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0	418	445	471	498	526	554	583	612	642	672
1	421	447	474	501	529	557	586	615	645	675
2	424	450	477	504	532	560	589	618	648	678
3	426	452	479	507	534	563	592	621	651	681
4	429	455	482	509	537	566	595	624	654	684
5	431	458	485	512	540	569	597	627	657	687
6	434	460	487	515	543	571	600	630	660	690
7	437	463	490	518	546	574	603	633	663	693
8	439	466	493	520	549	577	606	636	666	696
9	442	469	496	523	551	580	609	639	669	699
mm	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
0	702	733	765	797	829	862	895	928	962	996
1	705	737	768	800	832	865	898	931	965	999
2	709	740	771	803	835	868	901	935	969	1003
3	712	743	774	806	839	871	905	938	972	1006
4	715	746	777	809	842	875	908	941	975	1010
5	718	749	781	813	845	878	911	945	979	1013
6	721	752	784	816	848	881	915	948	982	1017
7	724	755	787	819	852	885	918	952	986	1020
8	727	758	790	822	855	888	921	955	989	1023
9	730	762	793	826	858	891	925	958	992	1027

INCERTIDUMBRE DE CALIBRACIÓN

La incertidumbre de calibración se debe calcular conforme a la Guía de expresión de la incertidumbre ISO – GUM. A continuación se muestra el cuadro que contiene las fuentes de incertidumbre de calibración, y una estimación de la misma para el ejemplo desarrollado en este Apéndice.

Ejemplo cálculo de Incertidumbre

Fuentes de incertidumbre	Símbolo		Valor estimado	Distribución	Intervalo (±)		k	u _i	v _i	ci	(c _i u _i) ²	% contribución
Patrón de volumen	V _p	200	L	Normal	0,010	L	2	5,00E-03	50	1E+00	2,5E-05	0,6
Resolución patrón	R		L	Rectangular	0,100	L	1,7	5,78E-02	50	1E+00	3,3E-03	76,5
Enrase Patrón	En		L	Rectangular	0,050	L	1,7	2,89E-02	50	1E+00	8,4E-04	19,1
Coefficiente de expansión cúbica del patrón	α	5,16E-05	1°C	Rectangular	5,16E-06	L	1,7	2,98E-06	50	95	8,1E-08	0,0
Coefficiente de expansión cubica del liquido	β	2,10E-04	1°C	Rectangular	2,10E-05	1°C	1,7	1,21E-05	50	91	1,2E-06	0,0
Coefficiente de expansión cubica del recipiente trabajo	α _T	5,16E-05	1°C	Rectangular	5,16E-06	1°C	1,7	2,98E-06	50	-3290,95238	9,6E-05	2,2
Temperatura liquido en patrón	t _p	20,48	°C	Rectangular	1	°C	1,7	5,78E-01	10	1,03E-02	3,6E-05	0,8
Temperatura liquido en recipiente trabajo	t _T	20,45	°C	Rectangular	1	°C	1,7	5,78E-01	10	1,03E-02	3,6E-05	0,8
Temperatura referencia patrón		20	°C									
Temperatura referencia recipiente trabajo		4	°C									
Resolución de la regla	R _r			Rectangular	2	L	1,7	1,2	50	1	1,3	18,4
Ajuste curva	A _j			Rectangular	4	L	1,7	2,4	50	1	5,9	81,6
Incertidumbre resultante	U				0,1316	L	2		80			100,0

$$U = 0,000658 \text{ V} + 5,4$$

Volumen	U [L]	U [%]
500	5,7	1,14%
1000	6,0	0,60%
1500	6,4	0,42%
2000	6,7	0,34%
2500	7,0	0,28%
3000	7,4	0,25%
3500	7,7	0,22%
4000	8,0	0,20%

Figura 13. Tabla de incertidumbres de calibración en función del volumen contenido.



Apéndice 2

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE SISTEMA DE MEDICIÓN DE VOLUMEN DE LECHE POR MÉTODO VOLUMÉTRICO

La calibración consiste básicamente en la determinación de los errores sistemático y aleatorio del sistema de medición.

Para realizar la calibración se deben utilizar los siguientes elementos:

- Patrones de volumen acordes a los requerimientos de la resolución 197/1981 del Ministerio de Comercio e Intereses Marítimos. La capacidad nominal del patrón de volumen debe definirse de manera que cada corrida de calibración tenga una duración mínima de 2 minutos.
- Termómetro con incertidumbre máxima: 0,2 °C.
- Cronómetro.

Todos los equipos y patrones intervinientes deben estar metrológicamente confirmados para su uso.

• Condiciones ambientales

Se debe registrar la temperatura ambiente reinante al momento de la calibración. Los límites de temperatura son los establecidos por la hoja de especificaciones del sistema de medición.

• Identificación

El sistema de medición de volumen y sus componentes principales deben estar unívocamente identificados.

• Control previo a la calibración

- a) Comprobar la ausencia de pérdidas de líquido en el sistema de medición de volumen.
- b) Comprobar que el indicador funcione correctamente y que indique correctamente la totalidad de los dígitos (0 a 9).
- c) Comprobar que el/los filtro/s de leche del sistema de medición se encuentren en condiciones operativas.
- d) Comprobar la ausencia de entrada de aire al sistema efectuando un ensayo de vacío. Este ensayo consiste simplemente en confinar toda la zona de baja presión del sistema de medición (aguas arriba de la bomba de impulsión incluida la manguera) y realizar vacío a través de una bomba de vacío o de la misma bomba del sistema de medición, si el sistema lo permite. Previamente se debe adicionar un vacuómetro en la zona de baja presión, y una vez que se ha realizado el vacío, observar que su indicación no varíe por al menos dos minutos.





• **Calibración**

- a) Nivelar el patrón de volumen.
- b) Llenar el patrón de volumen con leche.
- c) Enrasar y leer en la escala del patrón el volumen contenido.
- d) Registrar la temperatura del líquido contenido en el patrón.
- e) Dispensar 200 L aproximadamente en la batea inferior con la manguera de suministro.
- f) Conectar la manguera de recolección del camión a la batea inferior.
- g) Abrir las válvulas V4 y V5
- h) Encender la bomba de succión del camión.
- i) Esperar a que se vacíe la batea inferior.
- j) Apagar la bomba y cerrar las válvulas V4 y V5.
- k) Ajustar a cero el indicador de volumen del sistema de medición.
- l) Abrir la válvula V1.
- m) Esperar hasta que el nivel en la batea inferior alcance las dos terceras partes de su capacidad.
- n) Encender la bomba y abrir las válvulas V3, V4 y V5.
- o) Mantener el nivel en la batea inferior a través de la regulación del caudal con la válvula V1.
- p) Una vez que se vacíe el patrón de volumen, esperar a que la leche contenida en la batea sea succionada por la bomba del camión.
- q) Apagar la bomba y cerrar las válvulas V4 y V5.
- r) Leer la indicación de volumen en el indicador del sistema de medición del camión.
- s) Determinar el error.
- t) Repetir la secuencia de calibración al menos dos veces.



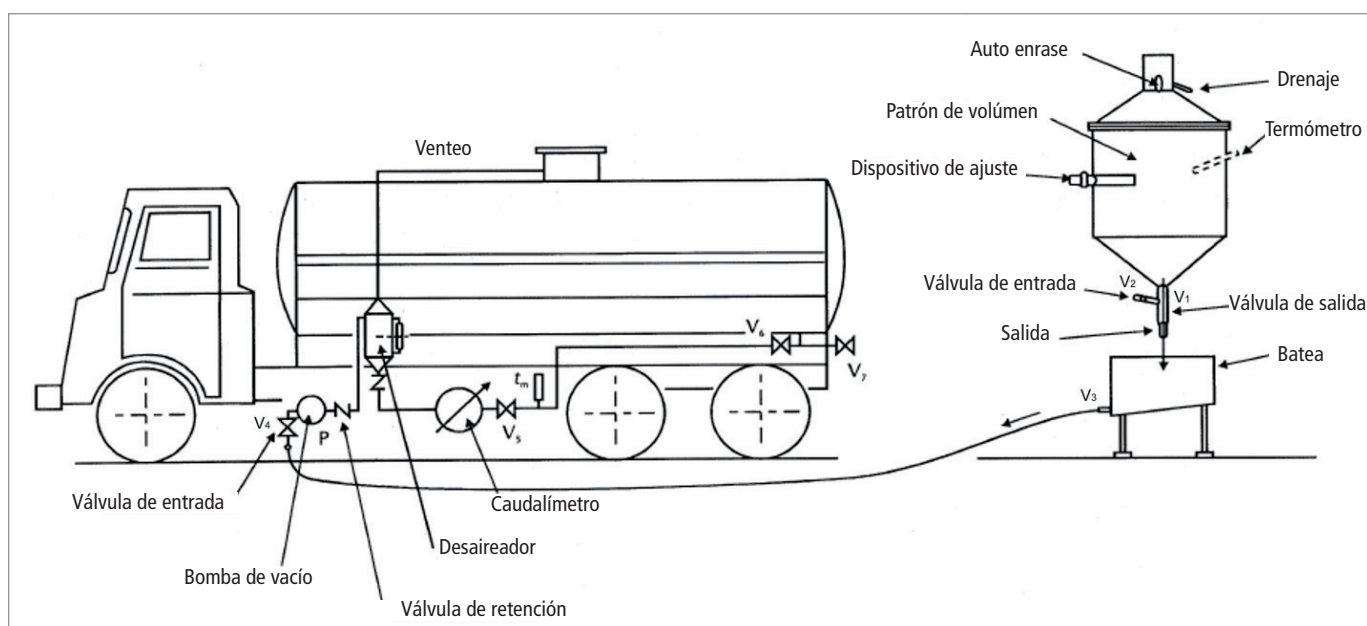


• **Determinación del error**

$$E = E' + E_{\beta}$$
$$E' = [(V_m - V_s) / V_s] \times 100$$
$$E_{\beta} = \beta (t_r - t_s) \times 100$$

DONDE

- E Error del medidor de volumen, en %
 E' Es el error sin efectuar la corrección por temperatura, en %
 E_{β} Es la corrección por temperatura del patrón de volumen (%)
 V_m Es el volumen indicado por el sistema de medición de volumen, en L
 V_s Es el volumen medido en el patrón de volumen, en L
 t_s Es el promedio de temperatura en el patrón de volumen durante la calibración, en °C
 t_r Es la temperatura de referencia del patrón de volumen, en °C
(este dato figura en la placa de características metrológicas del patrón de volumen).
 β Es el coeficiente de expansión térmica cúbica del patrón de volumen, en °C⁻¹
(este dato figura en la placa de características metrológicas del patrón de volumen).





• Ejemplo cálculo de incertidumbre

Fuentes de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado		Distribución	Intervalo (±)		k	u_i	v_i	ci	$(c_i u_i)^2$	% contribución
Patrón de volumen	Vp	3020,25	L	Normal	0,90	L	2	4,50E-01	50	1E+00	2,0E-01	4,8
Resolución del patrón de volumen	R		L	Rectangular	0,25	L	1,73	1,45E-01	50	1E+00	2,1E-02	0,5
Enrase Patrón	En		L	Rectangular	0,25	L	1,73	1,45E-01	50	1E+00	2,1E-02	0,5
Coefficiente de expansión cúbica del patrón	β	4,56E-05	1/°C	Rectangular	4,56E-06	L	1,73	2,64E-06	50	-13524	1,3E-03	0,0
Medición de temperatura	°C	2,00E+01	°C	Rectangular	1,0	°C	1,7	5,88E-01	50	1,4E-01	6,6E-03	0,2
Maniobra	M				1,5	1/°C	1,73	8,67E-01	50	1	7,5E-01	17,8
Resolución del caudalímetro	Rr				1,0	L	1,73	0,6	50	1	0,3	7,9
Repetibilidad	Rep				2,9	L	1,73	1,7	4	1	2,9	68,4
Incertidumbre resultante	U				4,1	L	2,0		1473			100,0

$$U = 4,1 \text{ L}$$

$$U = 0,14 \%$$







www.inti.gob.ar
0800 444 4004
consultas@inti.gob.ar



INTI

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

INTI Rafaela

INTI Rafaela
Ruta Nacional 34 – km 227,6
C.P. S2300 WAC, Rafaela
Santa Fe - Argentina
Tel.: (03492) 440471 / 441401
E-mail: rafaela@inti.gob.ar
Web: www.inti.gob.ar/rafaela

