UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

PROPUESTA INCORPORACIÓN DE FLUJÓMETRO PARA MEDICIÓN DE CAUDAL PARA SÓLIDOS, EN PLANTA SILOS, SAN ANTONIO

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero Ejecución Mecánico de Procesos y Mantenimiento Industrial.

Alumno:
Francisco Modesto Cofré Sepúlveda

Profesor Guía:
Guillermo Felipe Larson Muñoz

2019

RESUMEN

MercoExpress, San Antonio, consta de abastecimiento a clientes en bodegas planas y Planta de Silos, los cuales hacen el despacho y recepción del producto mediante distintos tipos de camiones. Además, la gestión, planificación y coordinación que necesita parte del traspaso del producto desde motonaves hasta el cliente.

En la Planta Silos de San Antonio, se tiene un problema de despacho del producto exacto. Para realizar este proceso de salida y llegada de producto, se ocupa un lugar cerrado llamado pavo, el cual recepciona por la parte inferior, y realiza el llenado al camión por la parte superior. Se debe tener un control de medición en la carga que se realiza, ya que los camiones deben llevar un tonelaje máximo por ley, en la planta se ocupan actualmente básculas para el pesaje, siendo estas imposibles de instalar en el pavo, previamente fue construida la planta con una báscula en la entrada para la tara del camión, y una báscula en la salida de la planta para verificar y despachar finalmente el camión. Esto se produce por no tener una medición mediante se está realizando la carga, y solo tener una hoja pre calculada con un cronómetro del operador para realizar el inicio y fin del llenado. Al momento de sobrar o faltar producto en el camión, debe pasar por prácticamente todo el proceso nuevamente, para así lograr llevar sus toneladas requeridas lo más cercano posible al máximo.

Para ello se propone incorporar un flujómetro másico. Con la medición del despachado permitirá posteriormente sumar un control de salida automático/manual mejor incorporado. Ayudando de esta manera a los operadores que llenaban de forma manual y visual el camión, por la gran cantidad de polvo emitido del producto, como también los tiempos perdidos por las vueltas de los camiones.

Esta incorporación de medidor de caudal, permitirá mejorar los tiempos de salida de camiones, minimizando las horas hombre de los operarios para abastecer éstos.

INDICE

INTRODUCCIÓN **1**

OBJETIVOS **2**

OBJETIVO GENERAL: 2

OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 2

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **3**

1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO 4

1.1.1. TRANSPORTE 4

1.1.2. LA CALIDAD DE MEDICIÓN DEL TERRENO 4

1.1.3. COSTOS 4

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 5

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 5

1.4. BENEFICIOS DEL PROYECTO 5

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO **6**

2.1. PROPIEDAD DE LOS FLUIDOS 7

2.1.1. DENSIDAD 7

2.1.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA 8

2.1.3. VISCOSIDAD 8

2.1.4. PRESIÓN 9

2.2. HIDROSTÁTICA 10

2.3. BALANCES MACROSCÓPICOS 10

2.3.1. ECUACIÓN DE BALANCE 10

2.3.2. BALANCE DE MASA 11

2.3.3. NATURALEZA DEL FLUJO DE FLUIDOS 12

2.3.4. EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS EN DUCTOS NO CIRCULARES 13

2.4. MEDIDORES DE FLUJO 14

2.4.1. ANENÓMETRO DE HILO CALIENTE 14

2.4.2. MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS 15

2.4.3. MEDICIÓN RADIOACTIVA 16

2.4.4. MEDICIÓN POR ULTRASONIDO 16

2.4.5. ANEMÓMETRO DE AIRE 16

2.4.6. MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO 17

2.4.7. MEDIDOR DE TURBINA 17
2.4.8. MEDICIÓN POR PRODUCCIÓN DE TORBELLINOS 17
2.4.9. CORIOLIS 17
2.4.10. FLUJÓMETROS PRESIÓN DIFERENCIAL 18
2.4.11. MEDICIÓN POR IMPACTO 19
2.4.12. CODOS 21
2.4.13. MEDIDORES EN CANALES ABIERTOS 22
2.4.14. BÁSCULA DE CINTA 24
2.4.15. BÁSCULA DOSIFICADORA 24
2.5. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD ENTRE CALIBRACIONES 24
2.6. PARTÍCULAS 26
2.6.1. CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS 26
2.6.2. CONTENIDO DE HUMEDAD 27
2.6.3. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES 27
2.7. GRANOS 28
2.7.1. PROBLEMAS UNIVERSALES DE LOS GRANOS Y SEMILLAS 28
2.7.2. IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO DE GRANOS 32
2.7.3. NECESIDADES DEL ALMACENAMIENTO 32
2.7.4. ECOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS 34
2.7.4.1. EL GRANO Y SUS PROPIEDADES 34
2.7.4.2. EL GRANO Y EL MEDIO AMBIENTE 34
2.7.4.3. CALENTAMIENTO ESPONTÁNEO 38
2.7.5. ACONDICIONAMIENTO DE LOS GRANOS 38
2.7.6. PROCESO DEL GRANO 38
CAPÍTULO III: PROCESO ACTUAL DEL LLENADO DE CAMIONES 41
3.1. PROCESO SEMIAUTOMÁTICO 45
CAPÍTULO IV: DISEÑO Y SOLUCIÓN 47
4.1. CÁLCULO DEL FLUJO 48
4.1.1. DENSIDAD 48
4.1.2. MASA 48
4.1.3. VOLUMEN 48
4.1.4. TIEMPO 49
4.1.5. CAUDAL 49
4.1.6. MASA/TIEMPO 50

4.2. SELECCIÓN DE CAUDALÍMETRO PARA SÓLIDOS..... 50
4.3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL 51
4.4. COSTOS 53
4.5. REFERENCIA DE INSTALACIÓN 54
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES 58
BIBLIOGRAFÍA..... 59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Clasificación del flujo de fluido 7
Figura 2-2: Picnómetro y probeta graduada para determinar la densidad de las partículas 8
Figura 2-3: Flujo laminar y turbulento 12
Figura 2-4: Medidor electromagnético 15
Figura 2-5: Anemómetro de aire 16
Figura 2-6: Flujómetro másico o Coriolis 18
Figura 2-7: Flujómetro Presión Diferencial – Tubo Pitot 19
Figura 2-8: Flujómetro Presión Diferencial – Placa Orificio 19
Figura 2-9: Medidor de impacto 20
Figura 2-10: Caudalímetro para sólidos. Detalle placa sensora 21
Figura 2-11: Modo de operación 21
Figura 2-12: Medidor de codo 22
Figura 2-13: Rebosadero 22
Figura 2-14: Tabla Formas rebosadero 23
Figura 2-15: Canal Parshall. Se presenta una comparación de los distintos medidores, con sus ventajas y desventajas 24
Figura 3-1: Pavo 42
Figura 3-2: Pavo con camión cargando 43
Figura 3-3: Báscula Norte 44
Figura 3-4: Walinga 45
Figura 3-5: Compuerta bajo silo pulmón 46
Figura 4-1: Balanza de impacto M-500 50
Figura 4-2: Controlador ITW-380 51
Figura 4-3: Tablero con controlador ITW-380 52
Figura 4-4: Referencia de instalación 54
Figura 4-5: Referencia de instalación 55
Figura 4-6-: Referencia de instalación línea completa 55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Hoja pre calculada para la carga de camiones en función del tiempo 43
Tabla 4-1: Densidad aparente 48
Tabla 4-2: Masa/Tiempo calculados 50
Tabla 4-3: Presupuesto 53
Tabla 4-4: Referencia de instalación línea completa 56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Comportamiento reológico de diferentes fluidos, en función del esfuerzo de corte (t) vs dV/dy 9
Gráfico 2-2-: Escalas de presión (Absoluta y relativas). 10

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1: Presiones 9
Ecuación 2-2: Expresión general para un balance 11
Ecuación 2-3: Balance de masa 11
Ecuación 2-4: Balance de masa estado estacionario 12
Ecuación 2-5: Reynolds 13
Ecuación 2-6: Radio Hidráulico 14
Ecuación 2-7: Caudal de canal 23
Ecuación 2-8: Porosidad 26
Ecuación 2-9: Densidad 26
Ecuación 4-1: Volumen 49
Ecuación 4-2: Caudal 49
Ecuación 4-3: Tiempo 57

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

$	:	Símbolo de dinero, peso chileno.
D_{eq}	:	Diámetro Equivalente.
R_H	:	Radio Hidráulico.
ρ_b	:	Densidad global del material disperso.
ρ_s	:	Densidad de la partícula.
m^3	:	Unidad de medida del volumen (Metro cúbico).
° API	:	Grados API o gravedad API. American PetroleumInstitute.
μ	:	Viscosidad media del fluido.
D	:	Diámetro.
h	:	Unidad de medida del tiempo (hora).
Ha	:	Unidad de medida abreviada de la hectárea.
K	:	Constante para el caudal.
Kg	:	Unidad de medida de la masa (Kilógramo).
L	:	Longitud que caracteriza al ducto.
LCD	:	Liquid Cristal Display.
Ltd	:	Limitado.
mm	:	Unidad de medida de distancia (milímetro)
NTEP	:	Sello de aprobación. Programa Nacional de Evaluación de Tipo.
PWM	:	Pulse Width Modulation.
Q	:	Caudal.
R	:	Radio.
RS	:	Recommended Standard.
S	:	Unidad de medida del tiempo (segundos).
Tn	:	Unidad de medida de la masa (tonelada).
U$D	:	Símbolo de dinero, dólar Estadounidense.

V	:	Velocidad media del fluido.
ε	:	Porosidad.
π	:	Número Pi.
ρ	:	Densidad del fluido.
ψ	:	Coeficiente de esfericidad.

INTRODUCCIÓN

Hay distintos tipos de fluidos existentes, los cuales se identifican y comportan por sus propiedades físicas junto a sus características, como la densidad, viscosidad, presión, que serán explicadas al comienzo.

Cada fluido debe ser transportado y almacenado para la conservación y uso adecuado que necesita, habiendo distintos métodos de transporte y de almacenaje para controlar su estado. Todos con el mismo propósito, pero en base a las características que estén transportando.

Merco Express San Antonio, se dedica al almacenaje de productos sólidos, siendo estos el día de hoy poroto soya, trigo, y maíz los cuales se almacenan mediante Silos y bodegas planas. Este proyecto se enfoca en la Planta Silos, que despacha y recepciona producto, debiendo ser guardado y transportado de buena manera para mantener su conservación estando con un entorno ideal de humedad en conjunto al flujo interno desde la llegada del producto hasta la salida, siendo retirado por camiones. El comportamiento se explicará con detalle para estos casos, posteriormente las clasificaciones y entornos que se encuentran.

Se identifica una falla en el despacho del producto, habiendo tiempos que se ocupan para volver a recibir el camión que no fue llenado de buena manera, siendo un exceso o falta de tonelaje a este debido al método de cargamento de camiones que se tiene en la actualidad. Estos tiempos muertos se podrían mejorar con la propuesta de incorporación de un caudalímetro.

Todo fluido puede ser medido de distintos métodos, éstos artefactos se le llaman flujómetros o caudalímetros, dependiendo del fluido a medir con sus características y propiedades. Debe ser escogido un flujómetro idóneo con las condiciones del entorno, ubicación, cantidad de producto a medir, etc. que serán explicados.

De esta forma realizará un análisis general de los tipos de flujómetros existentes para la medición de caudal, para así llegar a la elección y en conjunto a la automatización.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Propuesta incorporación de Flujómetro para la medición de caudal para sólidos, en planta silos, San Antonio. Logrando mejorar los tiempos de despacho de camiones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Recopilación y levantamiento de datos, estudio general e instrumentos existentes en el mercado.
- Diseño e incorporación de solución línea de estudio.
- Estudio de costos ideales en el mercado.

CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1.1.1. TRANSPORTE

El transporte de los granos y semillas a granel es una práctica habitual utilizada en maquinarias agrícolas y plantas de almacenamiento. Básicamente se utilizan dos métodos para el movimiento y manipulación de granos, los de tipo mecánico y neumático que eventualmente pueden ser utilizados en forma combinada. El primero consiste en realizar el transporte de granos a través de elementos mecánicos, como, por ejemplo: tornillos transportadores, redlers, transportadores de cintas y paletas. Mientras que en el segundo método se utiliza una corriente de aire, lo que, en algunos casos, presenta ventajas en el transporte y distribución. (Möller, Signorelli, & Storti, 2011)

1.1.2. LA CALIDAD DE MEDICIÓN DEL TERRENO

Para el usuario final del flujómetro, la característica más importante es la exactitud de la medición del flujo total, lo que significa a su vez la exactitud de la cadena completa de medición. La cadena de medición incluye todo el procesamiento necesario para construir el valor final informado. (Laukkanen & Maron, 2012)

Los flujómetros utilizados por la industria hoy tienen una muy alta calidad. De acuerdo con las especificaciones de los fabricantes, la exactitud de los flujómetros es generalmente mejor que +/- 1% de la lectura. El medidor en sí mismo, sin embargo, sólo representa una parte de la cadena de medición. Y resulta que los problemas de calidad generalmente se encuentran en otros puntos de la cadena de medición distintos del medidor mismo. (Kuoppamäki, Baoyu, Lide, & Xiaona, 1996). (Laukkanen & Maron, 2012)

La calidad general de la medición puede a menudo ser estimada en forma aproximada a partir de los balances de volumen o masa. (Laukkanen & Maron, 2012)

1.1.3. COSTOS

Para controlar los costos hay que mantener un inventario preciso. Para seguir el inventario con precisión, el cliente mide el grano a medida que este es puesto en los silos de almacenamiento. Mejora la calidad y reduce las ineficiencias de proceso tales como costos materiales y pérdida de tiempo. (Siemens, Por amor al grano, Soluciones para la industria del grano - Siemens, s.f.)

Los vehículos de transporte llenados en exceso están sujetos a multas exorbitantes, mientras que los envíos con menos grano que la cantidad pedida por un cliente también pueden causar problemas. Al cargar camiones es importante cargar lo más cerca posible del peso objetivo. Si el camión está demasiado pesado, hay que retirar material. Si el camión no está cargado lo suficiente, debe ser enviando sin una carga completa, o regresar al área de carga. (Siemens, Por amor al grano, Soluciones para la industria del grano - Siemens, s.f.)

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La base de este proyecto es la incorporación de un sistema de medición, el cual sea capaz de recibir la información del flujo que está despachando la Planta de Silos San Antonio. Por lo cual está incorporado la explicación de los tipos de fluidos y especificando más a detalle el comportamiento y propiedades de los granos.

Además, se da a conocer los tipos de medidores que hay para todo tipo de flujo, dando énfasis a los que se ocupan para un flujo másico.

Para poder entender de mejor manera el por qué nace la necesidad de este proyecto, se da mención y explicación del cómo realizan la salida del producto.

Posteriormente a esto se recomienda la elección más ideal a implementar en base a sus beneficios, para así hacer un conteo monetario del proyecto.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la Planta Silos San Antonio, el sistema de despacho de producto se especializa en la carga de camiones. Esto se lleva a cabo con el tránsito de camiones mediante etapas desde la entrada hasta la salida, el cual principalmente se rige por tres etapas: Etapa uno, es la tara (pesaje sin carga) del camión por báscula; Etapa dos, es la carga del producto al camión; Etapa tres, pesaje del camión con carga.

En la etapa dos y la más importante, realizan la carga en función a una hoja pre calculada con los tiempos requeridos para llenar el camión al punto máximo, guiándose con la tara. Esta etapa se realiza en un lugar medianamente cerrado, obstruido en su mayoría por el camión, por lo cual se utilizan extractores de aire.

1.4. BENEFICIOS DEL PROYECTO

Logrando incorporar el sistema de medición, será capaz de tener una exactitud de la cantidad despachada de los Silos. Logrando de esta manera evitar tiempos muertos, ya que el camión gran parte del tiempo tiene que realizar una o más veces todo el recorrido de la Planta por el hecho de recibir o descargar del producto que falte o sobre. Todo esto por la inexactitud de implementación que realizan.

Por lo tanto, los tiempos muertos se trasladan a horas hombre perdidas a largo plazo, esperas mayores para el despacho de camiones, más tiempos de los trabajadores que están dentro del lugar de carga con el polvo que se levanta por el movimiento de los granos, etc.

CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

2.1. PROPIEDAD DE LOS FLUIDOS

Se tiene la densidad, gravedad específica, viscosidad, tensión superficial, presión, conductividad térmica, etc. (Salinas, 2010)

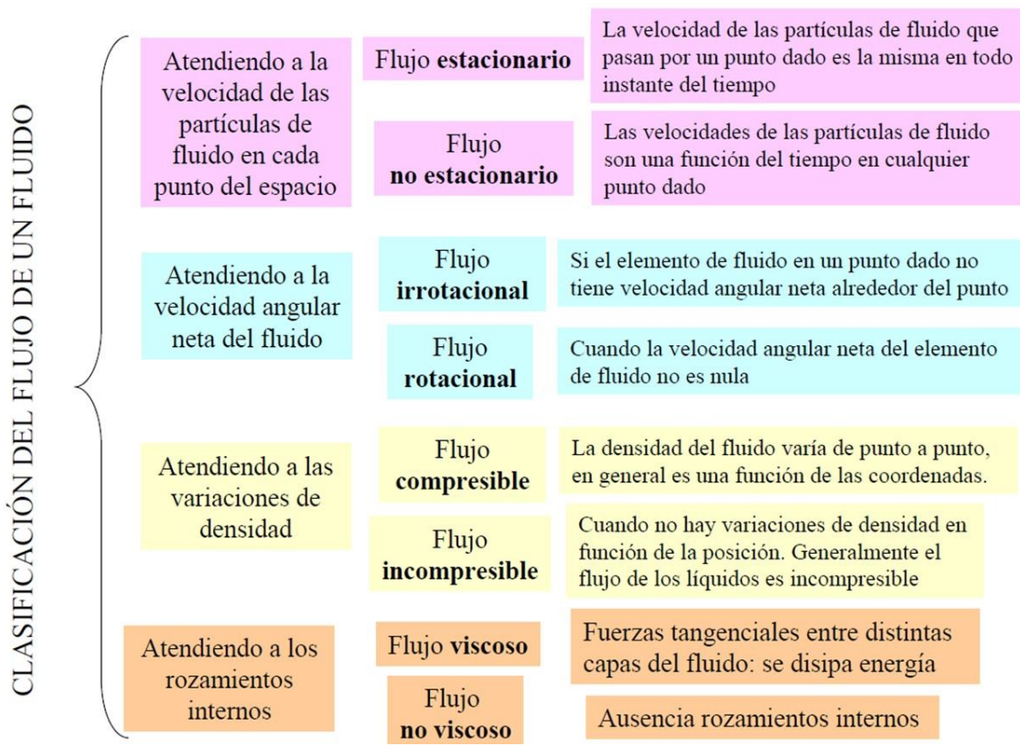


Figura 2-1: Clasificación del flujo de fluido

Fuente: (Kane & Sternheim, 1989)

2.1.1. DENSIDAD

Se define como el cuociente entre masa y volumen.

Existen numerosas técnicas experimentales e instrumentos que permiten evaluar la densidad de gases, líquidos y sólidos, existiendo los densímetros, picnómetros de líquidos y gases. (Ramírez Genel, 1966)

Figura 2-2: Picnómetro y probeta graduada para determinar la densidad de las partículas

Fuente: (Marín, 2013)

2.1.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA

Se define como el cuociente entre la densidad del fluido y la densidad de un fluido de referencia, en condiciones establecidas.

Esta definición tiene el mérito de ser una razón, por lo tanto, es un número puro, sin dimensión. Debe tenerse en cuenta el fluido de referencia y las condiciones de presión y temperatura de éste.

Algunos procesos industriales utilizan escalas especiales de densidades de fluidos, las que usualmente se refieren como "gravedades". Algunas de ellas son: "gravedad API" para aceites y petróleo, "gravedad Brix" para industria del azúcar y "gravedad Baumé" para ácido sulfúrico. Cada una de estas escalas se convierte en densidad, existiendo tablas y fórmulas para este efecto.

2.1.3. VISCOSIDAD

Es una medida de la resistencia a fluir, requiriendo una fuerza para vencer la fricción.

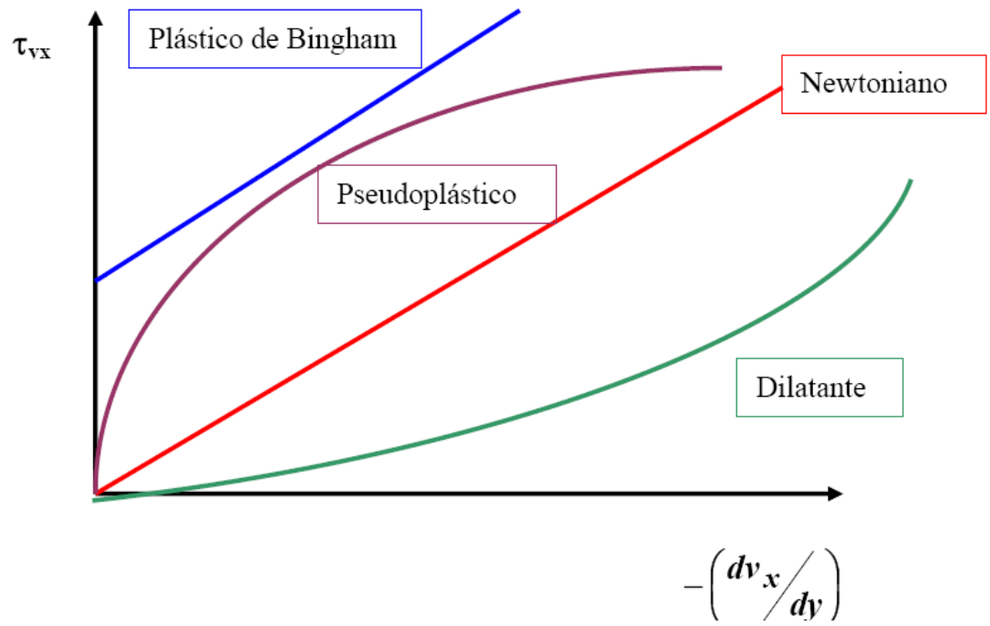


Gráfico 2-1: Comportamiento reológico de diferentes fluidos, en función del esfuerzo de corte (t) vs dV/dy

Fuente: (Salinas, 2010)

2.1.4. PRESIÓN

La fuerza normal que actúa sobre un área plana dividida por el área es la presión media. Si el área tiende a cero, se habla de presión puntual, la cual es la misma en todas las direcciones (x, y, z). En situaciones de mecánica de fluidos es frecuente trabajar con escalas de presión absoluta y escalas relativas como por ejemplo presiones manométricas y presiones de vacío. Las relaciones entre ellas son directas:

Presión Manométrica = Presión Absoluta – Presión atmosférica local

Presión de Vacío = Presión Atmosférica local – Presión Absoluta

Ecuación 2-1: Presiones

Fuente: (Salinas, 2010)

En la figura se muestran gráficamente estas relaciones. Debe observarse que las presiones absolutas siempre serán positivas, no así las manométricas que podrían ser negativas.

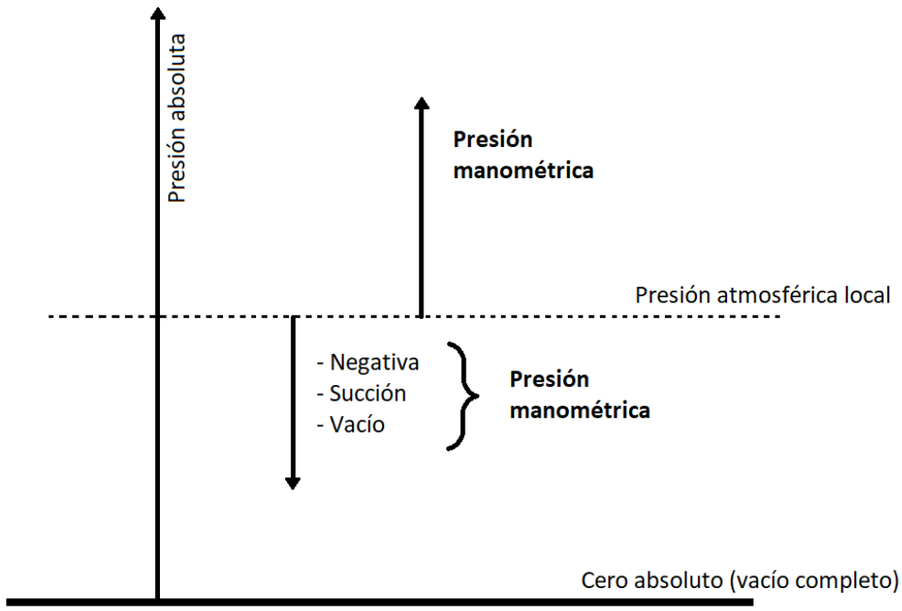


Gráfico 2-2-: Escalas de presión (Absoluta y relativas).

Fuente: (Salinas, 2010).

2.2. HIDROSTÁTICA

Un fluido se considera estático si todos los elementos constituyentes del fluido se encuentran en reposo o se mueven con velocidad uniforme, con respecto a un sistema de referencia. Esto se cumple cuando existe un equilibrio de las fuerzas que actúan sobre el fluido.

En un fluido en reposo sólo actúan esfuerzos normales (presión) y necesariamente los esfuerzos de corte deben ser cero.

Para un fluido en reposo la presión es la misma en todas las direcciones, pero varía con la altura, según la ecuación fundamental de la hidrostática (conocida también como ecuación de Torricelli).

2.3. BALANCES MACROSCÓPICOS

2.3.1. ECUACIÓN DE BALANCE

La expresión general para un balance tiene la forma siguiente:

Velocidad de Acumulación de X	**=**	**Velocidad de Creación de X**	**-**	**Velocidad de Destrucción de X**	**+**	**Flujo de Entrada de X**	**-**	**Flujo de Salida de X**

Ecuación 2-2: Expresión general para un balance

Fuente: (Salinas, 2010)

Esta Ecuación de balance puede ser aplicada a cualquier propiedad extensiva X, entendiéndose por propiedad extensiva aquella que se duplica al duplicarse la masa del sistema, por ejemplo, energía, entalpía, masa, cantidad de movimiento, etc. También es aplicable a unidades contables: dinero, personas, árboles, etc.

Al aplicar la ecuación de balance deben especificarse claramente los límites del sistema sobre el cual se aplica el balance. Los tipos de sistema son:

- Un sistema abierto, aquel cuyos límites permiten la entrada y salida de energía y masa,
- Un sistema cerrado, aquel cuyos límites sólo permiten la entrada y salida de energía.
- Un sistema aislado, aquel que no permite el intercambio de energía ni de masa.

Si se elige como sistema alguna región arbitraria del espacio en el cual pueden existir flujos de entrada y/o salida, entonces este sistema será el volumen de control.

La ecuación de balance no es aplicable a unidades incontables ni a propiedades intensivas (temperaturas, presión, viscosidad, dureza, color, densidad, etc.).

2.3.2. BALANCE DE MASA

Como ya se señaló, a la masa, propiedad extensiva, se le puede aplicar la ecuación de balance. Los términos de creación y destrucción de masa son cero, por lo que el balance de masa será:

Velocidad de acumulación de masa	**=**	**Flujo de entrada de masa**	**-**	**Flujo de salida de masa**

Ecuación 2-3: Balance de masa

Fuente: (Salinas, 2010)

La ecuación de balance de masa se conoce también con los nombres de: ecuación de conservación de masa, ecuación de continuidad o principio de continuidad.

Si el término de acumulación de masa se hace despreciable, se habla de balance de masa en estado estacionario. En este caso se obtiene:

Flujo másico de entrada = Flujo másico de salida

Ecuación 2-4: Balance de masa estado estacionario

Fuente: (Salinas, 2010)

Esta expresión se conoce como ecuación de continuidad en estado estacionario.

2.3.3. NATURALEZA DEL FLUJO DE FLUIDOS

En 1883, Osborne Reynolds (1842 – 1912), un físico británico, concluyó que, a bajas velocidades de agua, esta fluía en láminas o capas paralelas. En efecto, Reynolds en 1883 realizó el siguiente experimento: conectó un depósito de agua a un tubo de vidrio horizontal. En el extremo por donde ingresa la corriente de agua instaló una boquilla por la que se inyecta agua coloreada, tal como se esquematiza en la Figura 2-3.

A bajas velocidades, a lo largo del tubo permanece el filamento de tinta, ya que las partículas de tinta difunden lentamente y no tienen tiempo de diseminarse. A este flujo se le llama "laminar". Reynolds probó disminuir y aumentar la viscosidad del fluido, calentando y enfriando el agua respectivamente. El experimento mostró que en todos los casos existe una velocidad crítica que varía en proporción directa con la viscosidad del flujo. Al aumentar la velocidad del agua encontró que, a una velocidad determinada, velocidad crítica, desaparecía el chorro coloreado y la masa global de fluido se coloreaba uniformemente, concluyendo que sobre la velocidad crítica las partículas dejan de moverse en forma ordenada y paralela, moviéndose en forma caótica, mezclándose completamente.

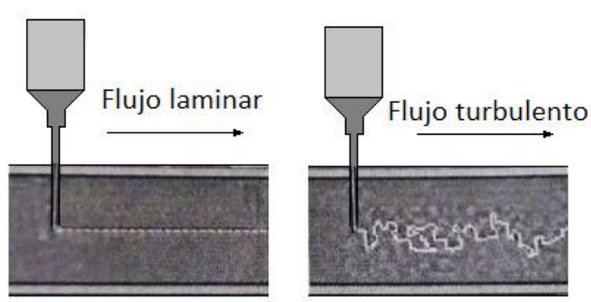


Figura 2-3: Flujo laminar y turbulento

Fuente: (Salinas, 2010)

Reynolds determinó que la velocidad crítica dependía del diámetro del tubo y de las propiedades físicas del fluido: densidad y viscosidad. Posteriormente, se concluyó que estos parámetros se pueden agrupar en un número adimensional, número de Reynolds, definido de la forma siguiente:

$$\textbf{Reynolds = Re = } \frac{\rho V L}{\mu}$$

Ecuación 2-5: Reynolds

Fuente: (Salinas, 2010)

ρ = Densidad del fluido.

V = Velocidad media del fluido.

L = Longitud que caracteriza al ducto. Para tuberías circulares L = D (Diámetro).

μ = Viscosidad media del fluido.

Experimentalmente se determinó que para el flujo en el interior de tuberías, cuando Re $\leq$ 2100 el flujo es laminar y que cuando Re > 4000, el régimen de flujo es turbulento. En la zona comprendida entre 2100 y 4000 el flujo puede ser laminar o turbulento, dependiendo de las características superficiales de la tubería, llamándose esta zona de régimen de transición.

2.3.4. EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS EN DUCTOS NO CIRCULARES

Cuando la sección del ducto no es circular, o cuando el fluido no llena totalmente la tubería, se debe utilizar un parámetro empírico, que se ha verificado entrega buenas predicciones cuando el régimen es turbulento. Es llamado radio hidráulico (R_H). Este R_H debe relacionarse con el diámetro de un ducto circular, a fin de emplear las fórmulas habituales de ductos efectivamente circulares. Para este fin se calculará el R_H de un ducto circular obteniéndose:

$$R_H = \frac{sección\ de\ flujo}{perímetro\ "mojado"}$$

$$R_H = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{R}{2} = \frac{D}{4} \Rightarrow D = 4\ R_H$$

Ecuación 2-6: Radio Hidráulico

Fuente: (Salinas, 2010)

Esto último es lo que se emplea como diámetro equivalente (D_{eq}), el problema se resuelve igual que como si fuera un ducto circular, reemplazando en las ecuaciones que se requiera el diámetro del ducto D por D_{eq}.

2.4. MEDIDORES DE FLUJO

Para cuantificar el flujo de fluidos existen métodos directos e indirectos. En los primeros se determina el peso o volumen de fluido, que pasa a través de una sección de un determinado tiempo, registrado con un cronómetro. En los métodos indirectos, se determina la altura, la diferencia de presiones o de velocidades en varios pintos de una sección, calculándose el flujo con esta información. Adicionalmente, existen métodos basados en conceptos físicos de electrónica, electromagnetismo, óptica, ultrasonido, entre otros.

La medición puede obedecer a distintos fines: información, control automatizado de un proceso, registro de variaciones de caudal en el tiempo, etc. Para estos efectos existen en el mercado una variedad de dispositivos cuyo funcionamiento obedece a distintos principios. Cada uno de ellos tiene una serie de ventajas y limitaciones, que lo hacen más o menos recomendable para una aplicación determinada, en función del fin que se persiga y del medio en el cual se utilizará (gas, líquido, fluido corrosivo o no, sólidos, etc.)

A continuación, se dará una breve descripción de medidores que funcionan en base a principios electrónicos, magnéticos, radioactivos, etc. Al final se describirán instrumentos que funcionan en base a principios hidrodinámicos, indicándose además sus ecuaciones de diseño.

2.4.1. ANENÓMETRO DE HILO CALIENTE

Este medidor se utiliza para determinar velocidades puntuales o locales, en ductos por los que circulan gases. El sensor es un hilo de platino (a veces revestido en cuarzo), que es calentado por una corriente eléctrica. La resistencia eléctrica del hilo es función de su temperatura. El flujo de gas alrededor del hilo caliente lo enfría

y de este modo varía su resistencia eléctrica. Dejando constante la tensión o la intensidad de la corriente en el hilo mediante un circuito conveniente, la variación en la intensidad o tensión, respectivamente, son función de la velocidad del flujo gaseoso que rodea al hilo caliente. Este hilo debe ser calibrado previamente, colocándolo en una corriente gaseosa de velocidad conocida.

2.4.2. MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS

Estos se basan en la ley de Faraday, según la cual, cuando un conductor eléctrico se mueve dentro de un campo magnético, se induce en él una fuerza electromotriz que es proporcional a su velocidad. Un medidor electromagnético consiste esencialmente en un carrete de tubería de material no magnético, que lleva adosado una serie de bobinas las cuales, una vez conectadas a un circuito eléctrico, crean un campo magnético transversal al tubo. Al atravesar este campo el fluido, cuyo valor es proporcional a la velocidad media del flujo, es detectada por dos sensores instalados en paredes opuestas al tubo. Un circuito electrónico auxiliar recibe las señales de los sensores y, después de procesar esta información determina la velocidad o caudal que está circulando.

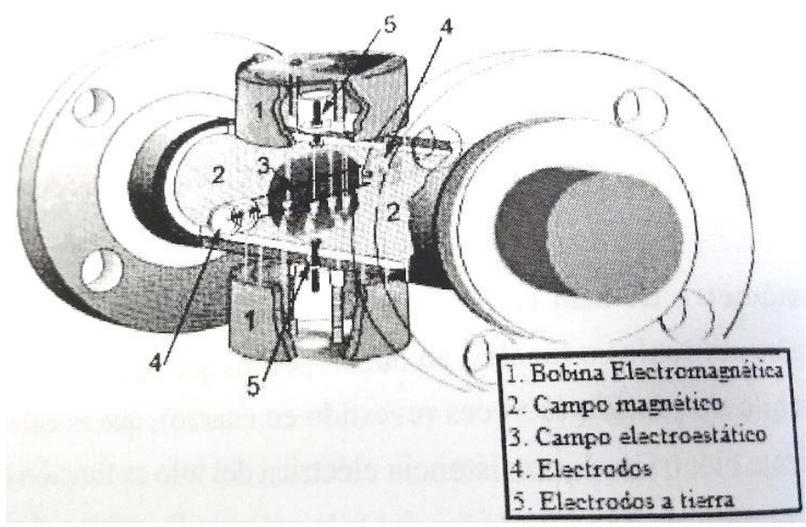


Figura 2-4: Medidor electromagnético

Fuente: (Salinas, 2010)

La gran ventaja de este medidor es que no presenta ninguna obstrucción al paso del fluido, e incluso su pared interna se puede recubrir con revestimientos adecuados, para evitar el ataque de fluidos corrosivos. Puede ser utilizado para la medición de fluidos pastosos. La principal desventaja es su alto precio, que es en función al diámetro de la tubería.

2.4.3. MEDICIÓN RADIOACTIVA

Se puede emplear en conducciones abiertas o cerradas. El método consiste en inyectar, en un punto del circuito, un trazador radioactivo y contar el tiempo que transcurre, hasta ser detectado por un contador Geiger, situado aguas abajo del anterior. Conocida la distancia entre ambos puntos, se determina la velocidad del fluido. Este método tiene el inconveniente, además del derivado de las precauciones que hay que observar en el manejo del material radioactivo, de que no se tiene una medición continua, sino únicamente la correspondiente al momento de introducir el trazador.

2.4.4. MEDICIÓN POR ULTRASONIDO

Existen distintos dispositivos que se basan en el efecto Doppler o en la recepción de ecos. En ambos métodos se utiliza un elemento emisor, que envía impulsos de ultrasonido a través del fluido en distintas direcciones. Los impulsos que viajan en el mismo sentido que el fluido, lo hacen a mayor velocidad que aquellos otros que viajan en sentido contrario. Una serie de sensores recogen estos impulsos y un circuido electrónico auxiliar procesa la información, calculando el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción del impulso. Como las distancias entre el emisor y los sensores son fijos y conocidos, se puede obtener la velocidad a la que viajó el impulso que, a su vez, es función de la velocidad del fluido.

2.4.5. ANEMÓMETRO DE AIRE

En este medidor, como se muestra en la figura 2-5, las aspas actúan sobre contadores que indican el número de revoluciones, las que se relacionan con la velocidad del gas.

Figura 2-5: Anemómetro de aire

Fuente: https://www.grainger.com/content/worldwidepage

2.4.6. MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Estos medidores constan de émbolos o tabiques, que son desplazados por la corriente fluida y de un mecanismo contador, que registra el número de desplazamientos en una unidad conveniente, como litros o metros cúbicos. Un medidor volumétrico es el utilizado en la mayoría de sistemas domésticos de distribución de agua. El caudal se obtiene determinando con un cronómetro el tiempo que tarda en pasar un volumen dado de fluido.

2.4.7. MEDIDOR DE TURBINA

El principio de funcionamiento del medidor de turbina es similar al del anemómetro de aire, con la diferencia de que se hacen impermeables y se colocan en el interior de una tubería, para medir caudales de fluidos. El núcleo del rodete puede contener un magneto, que, al girar el rotor, produce un campo magnético variable. El campo se detecta en una bobina eléctrica que va montada en la armadura externa de la unidad. La frecuencia de los impulsos magnéticos indica el caudal en un equipo de lectura. Debido a que la construcción y control de estos medidores es complicado, estos medidores son de elevado precio, aunque su gran exactitud los hace recomendables en operaciones automatizadas.

2.4.8. MEDICIÓN POR PRODUCCIÓN DE TORBELLINOS

Cuando un fluido en movimiento se encuentra en su camino con un obstáculo, las líneas de flujo intentan seguir el contorno de éste. Cuando el cuerpo no tiene un contorno aerodinámico, el fluido no se puede adaptar a su forma y, entonces, se crean torbellinos aguas abajo del cuerpo en la zona de menor presión. Estos torbellinos se desprenden alternativamente en ambos lados; la frecuencia con que se desprenden de un lado u otro resulta ser proporcional a la velocidad del fluido. La velocidad en ambos lados del obstáculo nunca es la misma. En efecto, cuando se desprende un torbellino, la velocidad del fluido aumenta en ese punto, y como consecuencia, disminuye la presión. En el lado opuesto ocurre lo contrario, por lo que en todo momento existe una diferencia de presiones a ambos lados del obstáculo, cuyo valor cambia con una frecuencia idéntica a la del momento del desprendimiento de los torbellinos. Midiendo las variaciones de presión a ambos lados del obstáculo se puede determinar el caudal. (Salinas, 2010)

2.4.9. CORIOLIS

El flujómetro de tipo másico o también conocido como “Coriolis” corresponde a un flujómetro el cual mide el flujo másico. Es utilizado en diferentes ramas de la industria como, la química, la alimenticia, y en la medición de combustibles. A diferencia del electromagnético este no necesita que el producto a medir sea conductor, lo que le permite medir una inmensa diversidad de productos. Además, este tipo de flujómetro pueden realizar mediciones de densidad, flujo volumétrico, temperatura, contenido de sólidos en el fluido, etc. Esto lo convierte en una muy buena opción en diferentes procesos.

Figura 2-6: Flujómetro másico o Coriolis

Fuente: (Barros Amigo, 2018)

El principio de funcionamiento, tal como su nombre hace referencia, se basa en el efecto Coriolis. Para esto el flujómetro, consta básicamente de un tubo oscilante de medición el cual varía su deformación dependiendo del flujo másico.

2.4.10. FLUJÓMETROS PRESIÓN DIFERENCIAL

Dentro de esta familia de medidores encontramos diferentes tipos como, tubo de pitot, y placa orificio. La ventaja principal de esta tecnología es su bajo costo, y además que la manera en que se obtiene la caída de presión puede optimizarse para diferentes fluidos. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la precisión entregada por estos medidores no corresponde a la mejor, y puede disminuir con el desgaste y la obstrucción.

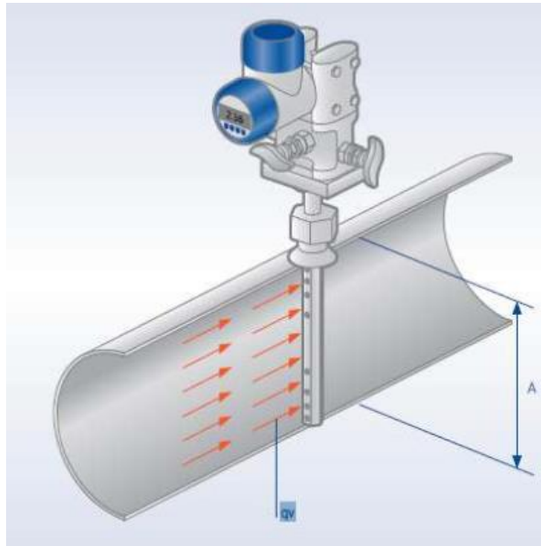


Figura 2-7: Flujómetro Presión Diferencial – Tubo Pitot

Fuente: (Barros Amigo, 2018)

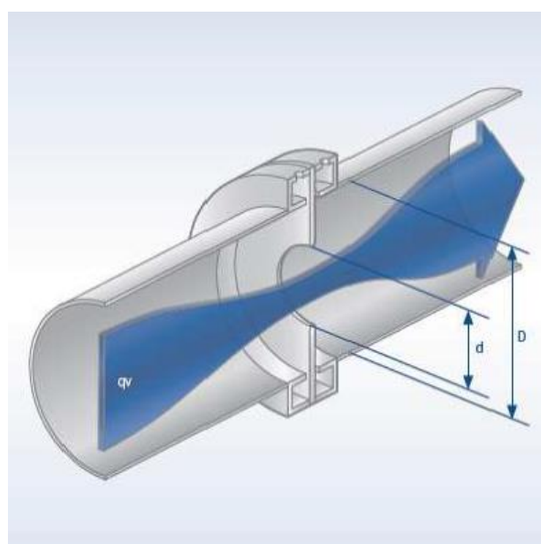


Figura 2-8: Flujómetro Presión Diferencial – Placa Orificio

Fuente: (Barros Amigo, 2018)

El principio de medición de estos flujómetros, tal como su nombre lo indica y como puede apreciarse en estas figuras, es generando una pérdida de presión, la cual finalmente se relaciona con el flujo. (Barros Amigo, 2018)

2.4.11. MEDICIÓN POR IMPACTO

La medición se efectúa introduciendo en el seno del fluido a medir una paleta, que se desplaza en la dirección de la corriente. La fuerza que ejerce el fluido en movimiento sobre esta paleta será proporcional al caudal que circula. Aunque este dispositivo se puede emplear con cualquier fluido, su utilización está en general

limitada a la medición de líquidos extremadamente viscoso o de alto punto de fusión: pastas, asfaltos, resinas, azufre fundido, etc. (Salinas, 2010)

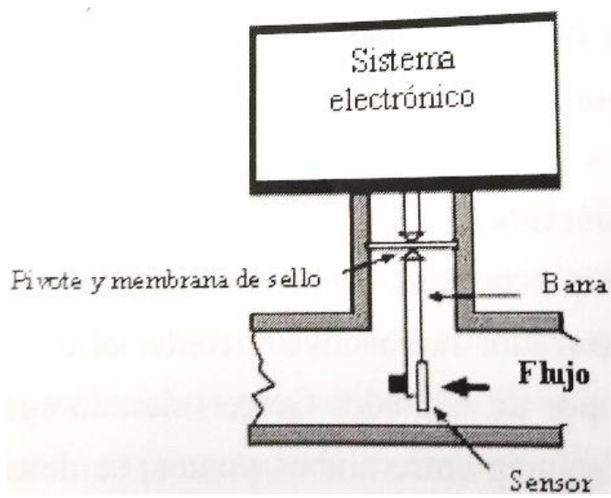


Figura 2-9: Medidor de impacto

Fuente: (Salinas, 2010)

- Medidores por impacto para sólidos

Monitorizan el caudal de sólidos a granel en un proceso. Miden continuamente la fuerza de impacto del material alimentado por gravedad, y convierten esta señal en caudal, para regular la cantidad y el mezclado de productos en un proceso. Los caudalímetros para sólidos pueden medir de forma autónoma o integrarse en sistemas de control de procesos que utilicen protocolos de comunicación estándar.

Miden cualquier producto sólido en polvo y granular. Cubren diferentes campos de aplicación, con materias de diferente densidad (trigo hinchado, mineral de hierro) y fluidez (polvos finos, cenizas volantes, torneaduras de metal). Se usan típicamente para medir cemento, grava, coque, minerales, trozos de madera, cereales, semillas, granos, soja, cáscaras de arroz, cacahuetes sin cáscara, almidón, azúcar, patatas en copos, desechos/subproductos del grano y pellets de plástico. (Siemens, Caudalímetros para sólidos, 2015)

El principio de funcionamiento es muy sencillo, el material sólido entra en el medidor de caudal por la placa de guía del caudal y pega en la placa sensora, generando una fuera mecánica y continua sin interrumpir el proceso o la producción.

La fuerza horizontal es convertida en señal eléctrica, controlada por la unidad electrónica utilizada con el medidor de caudal, para la visualización del caudal instantáneo y de la cantidad de material totalizada.

La medición sólo se basa en la fuera horizontal de la fuerza de impacto, no se tomará en cuenta la fuerza vertical provocada por la acumulación de material en la superficie no utilizada de la placa sensora. Por consiguiente, no hay

desviaciones del cero, lo cual elimina la necesidad de repetir las calibraciones. (A. Carrara, 2019)

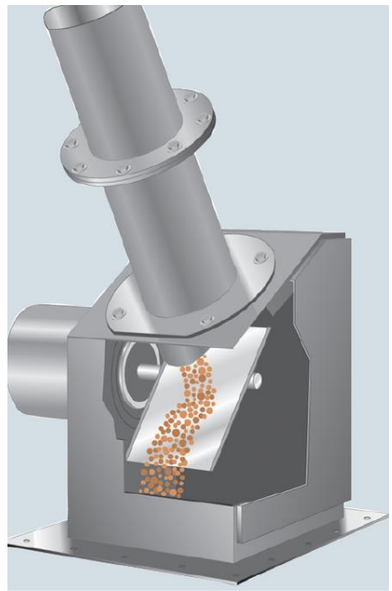


Figura 2-10: Caudalímetro para sólidos. Detalle placa sensora

Fuente: (Siemens, Caudalímetros para sólidos, 2015)

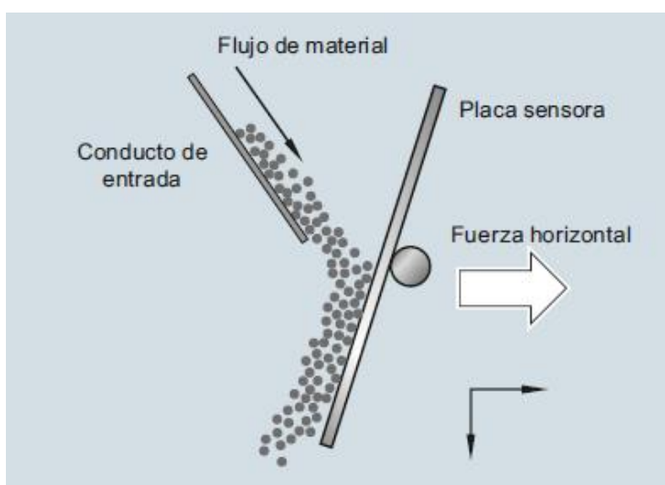


Figura 2-11: Modo de operación

Fuente: (Siemens, Caudalímetros para sólidos, 2015)

2.4.12. CODOS

Un codo de una tubería puede utilizarse en ciertas condiciones para estimar el caudal (Figura 2-12). En efecto, la fuerza centrífuga que actúa sobre el fluido al girar 90°, produce que la presión en la pared externa de la curva tenga un valor superior al que existe en la pared interna. Esta diferencia se relaciona con el caudal. Este

método de medición, en determinadas condiciones tiene la suficiente reproducibilidad como para permitir su uso con fines de control.

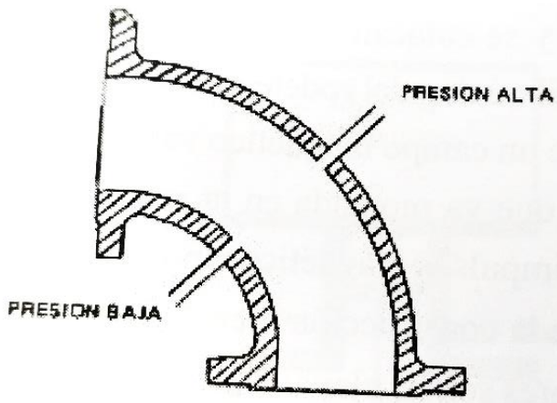


Figura 2-12: Medidor de codo

Fuente: (Salinas, 2010)

2.4.13. MEDIDORES EN CANALES ABIERTOS

Existen dos tipos de medidores: Rebosaderos y canales de medida.

2.4.13.1. REBOSADEROS

En un canal se coloca una represa cuyo rebosadero puede adoptar distintas formas. El líquido alcanzará diferentes alturas en función del caudal: a mayor caudal, mayor altura. Esta altura se mide en un tubo tranquilizador por cualquier método establecido para la medición de niveles, como se muestra en Figura 4.19.

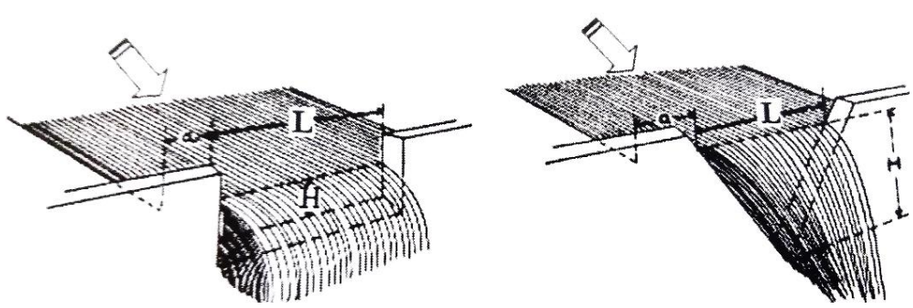


Figura 2-13: Rebosadero

Fuente: (Salinas, 2010)

La altura está relacionada con el caudal por ecuaciones semi-empíricas que dependen del tipo de rebosadero, como se muestra en la Tabla 2-14.

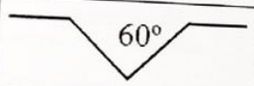
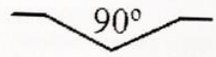
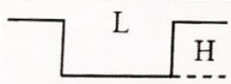
Forma rebosadero	Ecuación para Q de descarga en pie^3/seg.
	$Q = 1{,}43 \times H^{2.5}$
	$Q = 2{,}49 \times H^{2.48}$
	$Q = 3.33\ H^{3/2}\ (L - 0.2\ H)$
Q = (pie^3/seg), H = pie, L = pie	

Figura 2-14: Tabla Formas rebosadero

Fuente: (Salinas, 2010).

Estos son los rebosaderos más sencillos, existiendo otros de forma más complicada.

2.4.13.2. CANALES

Existen distintos tipos de canales que se diferencian por sus dimensiones y ángulos de entrada y salida. En la Figura 2-15 se muestra uno de ellos. Como se ve, consisten en esencia en intercalar una garganta, para conseguir que las variaciones de caudal se reflejen en una variación de nivel en el tubo de medida.

La relación existe en los canales entre el caudal y la altura del nivel adopta la siguiente forma:

$$\boldsymbol{Q = K\sqrt{(altura)^3}}$$

Ecuación 2-7: Caudal de canal

Fuente: (Salinas, 2010)

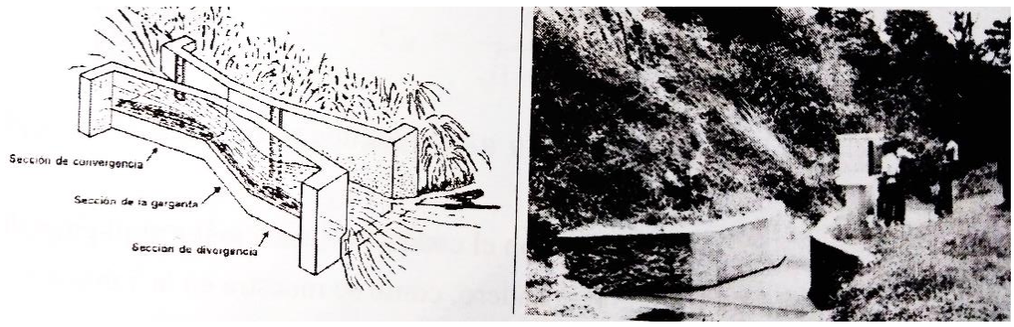


Figura 2-15: Canal Parshall. Se presenta una comparación de los distintos medidores, con sus ventajas y desventajas

Fuente: (Salinas, 2010)

2.4.14. BÁSCULA DE CINTA

Robustas básculas de cinta de una sola polea tensora para el pesaje de alta precisión, para el control de procesos y descargas. Las básculas de cinta proporcionan pesaje en línea continuo para monitorear productos tales como harina, grano o azúcar. (Siemens, Por amor al grano, Soluciones para la industria del grano - Siemens, s.f.)

2.4.15. BÁSCULA DOSIFICADORA

Control y monitorización de velocidad de alimentación y mezcla en cereales, semillas o minerales. Tienen un fácil desmontaje de la cinta para su reemplazo o limpieza, instalación rápida, de fácil limpieza y manutención. (Siemens, Por amor al grano, Soluciones para la industria del grano - Siemens, s.f.)

2.5. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD ENTRE CALIBRACIONES

Las calibraciones en terreno solas no pueden garantizar la calidad de la medición. Ellas son parte fundamental del programa de aseguramiento de calidad, pero la estabilidad entre las calibraciones debe ser también seguida de otros elementos. Los sistemas modernos de automatización equipados con bases de datos históricos proporcionan una solución muy útil para estos efectos. Es posible construir un sistema de detección de medición con falla basándose en los balances de volumen y los controles de estabilidad que generan alarmas en caso de inconsistencias importantes. Esta combinación de detección de una medición con falla y las calibraciones en terreno permiten programar la mantención basándose en la condición de la instrumentación que, en sistemas que realizan cientos de mediciones, significan importantes ahorros y también una mejor calidad de medición. (Laukkanen & Maron, 2012)

2.6. PARTÍCULAS

2.6.1. CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

Las propiedades físicas y fuerzas de atracción que existen entre partículas sólidas, caracterizan el escurrimiento de fluidos a través de ellas. Entre las propiedades físicas, deben mencionarse la densidad, el tamaño y forma de las partículas.

2.6.1.1. DENSIDAD DE LAS PARTÍCULAS

Con respecto a la densidad, debe diferenciarse entre la densidad de la partícula (llamada también densidad real), ρ_b. Esta última corresponde a la densidad global del material disperso, incluyendo los espacios libres entre partículas. Su evaluación experimental es simple, utilizándose por ejemplo con un picnómetro o una probeta graduada. La relación entre ambos parámetros es a través de la porosidad, ε, la cual se define como:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{(\boldsymbol{volumen\ de\ huecos})}{(\boldsymbol{volumen\ total})}$$

Ecuación 2-8: Porosidad

Fuente: (Salinas, 2010)

De esta forma:

$$\boldsymbol{\rho_b = \rho_s\ (1 - \varepsilon)}$$

Ecuación 2-9: Densidad

Fuente: (Salinas, 2010)

Valores frecuentes de porosidad en lechos fijos constituidos por partículas se encuentra entre 0.35 y 0.5. En aplicaciones en lechos fluidizados, estos valores suben a porosidades entre 0.6 y son superiores a 0.85 en transporte neumático.

2.6.1.2. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

El tamaño de la partícula es una descripción de su extensión en el espacio, la cual puede describirse en forma lineal (diámetro, ancho, alto, espesor), superficial o de volumen. El concepto de diámetro originalmente definido para describir el tamaño de partículas esféricas, también puede ser empleado para caracterizar partículas irregulares. El diámetro de éstas puede ser definido en términos de la geometría de partículas individuales, extendiendo varias alternativas al respecto. Una de ellas considera el diámetro de la partícula como un promedio aritmético de sus dimensiones lineales características. (Salinas, 2010)

2.6.1.3. FORMA DE LAS PARTÍCULAS

La mayoría de los materiales a granel se componen de partículas que no son esféricas. Se sabe poco al respecto y es común clasificarlas visualmente por su forma en angulares. Irregulares, redondeadas, granulares, fibrosas, etc.

En un intento por asociar un valor numérico a la forma de las partículas, Klinzing define el coeficiente de esfericidad, ψ , como el cuociente entre el área superficial de una esfera equivalente que tenga el mismo volumen que la partícula sobre el área superficial de la partícula. De esta manera, y a modo de ejemplo, para una partícula esférica $\psi = 1$, para un cilindro regular $\psi = 0{,}67$. Para partículas granulares y "quebradas" se recomienda usar valores entre $0{,}55 < \psi > 0{,}7$.

2.6.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad (en base seca) de un material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre el peso del agua superficial o libre existente en la muestra de material y el peso original de la muestra menos el peso de agua. Puede determinarse secando una pequeña muestra de material en un horno a 110°C $\pm$ 5°C hasta que no pierda más peso.

2.6.3. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

La medición de la compresibilidad de un material sólido a granel permite determinar la variación de su densidad aparente en función de la presión de consolidación (altura de un silo). Depende del tamaño, forma y densidad de las partículas, y de su contenido de humedad. Se utiliza para el diseño de los alimentadores, para el cálculo de la capacidad de almacenamiento de un silo y de la presión sobre sus paredes.

La medición de la permeabilidad de un material en aire permite determinar si existe flujo crítico de descarga del material deaireado como función de la altura efectiva y del tamaño de la abertura de descarga de un silo. Materiales finos pueden ser poco permeables, los que ofrecen una alta resistencia al flujo de aire a través de

las partículas. Por ejemplo, esto implica que el material pueda demorarse varias horas (t hasta días) en deairearse completamente y por su propio peso en un silo, reteniendo parte del aire atrapado entre las partículas como es el caso del cemento y las cenizas. Además, la permeabilidad y la retención de aire de un material determinan el tipo de flujo en base densa que puede desarrollarse en una cañería.

Ensayos de fluidez instantáneos y de tiempo permiten determinar la resistencia cohesiva de un material y las dimensiones mínimas de la abertura de descarga de un silo para garantizar el flujo confiable del material, evitando problemas de arcos y atollos. Ensayos de fricción de pared instantáneos y de tiempo se realizan sobre diferentes tipos de superficie (acero al carbono, acero inoxidable, plástico, pintura epóxica, etc.) para determinar la inclinación mínima de las paredes de una tolva para lograr flujo másico de descarga de un silo. (Marín, 2013)

2.7. GRANOS

2.7.1. PROBLEMAS UNIVERSALES DE LOS GRANOS Y SEMILLAS

La conservación adecuada de los granos y las semillas almacenadas en cualquier localidad del mundo, depende esencialmente de la ecología de la región considerada; del tipo de troje, bodega o almacén disponible; del tipo condición del grano o semilla por almacenar y de la duración del almacenamiento.

Los factores físicos más favorables para el desarrollo rápido de las plagas, una de las principales causas del deterioro y pérdida de granos y semillas en el almacenamiento, son la humedad y la temperatura. El desarrollo de los insectos y microorganismos, así como la respiración de las semillas y de los granos, se incrementa mucho más cuando estos dos factores actúan al mismo tiempo y en el mismo sentido; cuando solamente uno de ellos es favorable para estas actividades bióticas, el otro se convierte entonces en un factor limitante en el proceso complejo que, finalmente, determinará la conservación del grano o la semilla almacenados.

La conservación de los granos y las semillas en las regiones tropicales húmedas, donde privan condiciones de alta temperatura y humedad relativa, constituyen un problema de bastante seriedad. Estas condiciones ecológicas favorecen el desarrollo de las principales plagas, como hongos, bacterias e insectos, roedores y pájaros, que perjudican a la semilla y a los granos. La alta humedad relativa que prevalece en estas regiones, ocasiona que el contenido de humedad en los granos y en las semillas se equilibre en porcentajes de humedad muy peligrosos para su conservación, aun tratándose de cortos periodos de almacenamiento. Por ejemplo, con 25°C de temperatura y un 75% de humedad relativa en el medio ambiente, el grano de maíz alcanza, con facilidad, un equilibrio dinámico de casi 15% de contenido de humedad. Esta condición lo predispone al ataque de insectos y hongos, y a calentamientos peligrosos debido a la exacerbación del metabolismo del grano y a las plagas. La condición descrita contribuye y acelera el deterioro del grano y es causa de una conservación muy incierta de éste.

La conservación de los granos o de las semillas es un problema complicado y difícil de resolver, debido a la concurrencia de diversos factores que influyen en ella y que producen pérdidas en el almacenamiento debidas a diferentes causas, cuya importancia es mayor de la que generalmente se le concede. EL principio de un buen almacenamiento y conservación de granos y semillas es el empleo de bodegas secas, limpias y libres de plagas, donde se almacenen granos secos y enteros, sanos y sin impurezas.

Aunque en todas partes existen muchos almacenes y lugares donde el manejo de granos se realiza con toda propiedad, en forma general puede afirmarse que muchos granos, semillas y sus productos, no se almacenan en bodegas apropiadas como sucede en la mayor parte de los países de la zona intertropical del mundo. Gran parte de los agricultores siguen empleando trojes o bodegas carentes de toda ventaja para la buena conservación del grano. EL secado y la limpieza de los granos o semillas se practica en muy baja escala y no se tienen para la mayoría de granos y semillas, normas de clasificación lógicas y adecuadas a las áreas de producción, que permitan establecer categorías en lo referente a calidades.

Por lo que respecta a la humedad en los granos, este factor sigue siendo un factor determinante en los problemas inherentes a su conservación y manejo. La mezcla de granos infestados y sucios con grano limpio y sano, crea problemas aún más complejos, en relación con su manejo y conservación. Cuando la mayoría del grano se maneja encostalado, la disposición de las estibas no es, en muchos casos, la más adecuada. Cuando el método de almacenamiento es a granel, en muchas ocasiones hay descuidos involuntarios por parte del personal encargado de hacerlo, los cuales redundan en fuertes pérdidas del grano aun tratándose de casos de almacenamiento por cortos periodos.

De acuerdo con los datos disponibles, se considera que los factores en orden de importancia que determinan y acentúan las pérdidas de los granos que se almacenan en la mayoría de las áreas del mundo, son los siguientes:

- La carencia de almacenes adecuados para el manejo y facilidades de almacenamiento:

El almacén, bodega o troje, es el lugar que determina en gran parte, con qué seguridad se conservarán los granos y productos allí depositados. Este tipo de construcción, su localización y funcionamiento, deben ser planeados específicamente para este servicio, atendiendo a las necesidades regionales o nacionales con respecto a volumen e importancia de acuerdo con las condiciones climáticas del área en que se construyan.

La función primordial de un almacén o bodega, de cualquier tipo o capacidad, es la de proporcionar a los granos y a sus productos toda la protección posible contra los factores adversos del medio ambiente para garantizar su conservación adecuada a corto o largo plazo. Es decir, el almacén debe proteger a los granos y a las semillas de los factores físicos del medio ambiente, como la excesiva humedad o las temperaturas extremas que lo perjudican, así como de factores bióticos, como las plagas de insectos, hongos, baterías, ratas, ratos y aves.

Para llenar esta función, las facilidades para el manejo de los granos y sus productos deben ser óptimas, para que puedan emplearse con eficiencia en las múltiples labores necesarias e indispensables, particularmente durante las épocas de recolección de las semillas o durante la disponibilidad de productos alimenticios. Para ello, cuando asó se requiera, debe contarse con el equipo indispensable para el movimiento del grano, su limpieza, la clasificación y el secado, además con el equipo adecuado para el combate de plagas.

- El alto contenido de humedad e impurezas del grano en el momento de almacenarlo:

El origen de la humedad de los granos y semillas es muy variado, pero por lo que respecta a su alto contenido de humedad en el momento de almacenarlos, este factor constituye uno de los de mayor influencia en la conservación de estos materiales durante el almacenamiento- Por ejemplo, las plagas que atacan a los granos almacenados son menos atraídas por los granos secos. Además, cuando el grano es almacenado con exceso de humedad, automáticamente se predispone a un calentamiento excesivo o espontáneo, debido a su alto rango respiratorio y simultáneamente o subsecuentemente, a la descomposición y pérdida de este grano por el ataque de hongos, bacterias e insectos. Entre más seco se encuentre el grano almacenado y más baja sea la temperatura en el almacén o bodega, la conservación de éste es mucho mejor.

Las condiciones ecológicas prevalentes en el área de almacenamiento, tienen también una influencia decisiva sobre los granos que allí se van a guardar, porque este grano forzosamente tiene que alcanzar un equilibrio de humedad con la humedad relativa del aire. El contenido máximo de humedad con que un grano debe ser almacenado con seguridad, depende esencialmente de tres factores, los cuales deben analizarse y son: el tipo y condición del grano, e área ecológica donde se encuentren enclavados los almacenes empleados y la duración del periodo de almacenamiento necesario.

- La presencia de plaga (insectos, hongos y bacterias, roedores):

Son cuatro los tipos de plagas que, individualmente o en conjunto, pueden causar pérdidas, en muchos casos considerables, a los granos tanto en el campo como en el almacén. Estas plagas son: los insectos; los microorganismos (hongos y bacterias); los roedores (ratas y ratones) y los pájaros, en el campo, antes de la cosecha, aunque también pueden ocasionar daño en almacenes donde tienen libre acceso.

Un incremento en la temperatura corresponde a una disminución en la humedad relativa y estas variaciones repercuten en los volúmenes de grano y en las poblaciones de insectos que los infestan.

Los granos y semillas almacenados con altos porcentajes de humedad e infestación de insectos se calientan con facilidad y sufren rápida descomposición porque la respiración de los granos se suma a la de los insectos y microorganismos. Durante el proceso general de respiración, se genera energía que se transforma en calor y el grano entonces se calienta.

- El manejo deficiente de granos o semillas:

Por lo que respecta al "manejo deficiente" y al "desconocimiento de los problemas" involucrados en el proceso de la conservación y almacenamiento de granos, es lógico que estos aspectos sean de carácter negativo y contribuyan, en mucho, a las pérdidas generales que sistemáticamente se registran. Por lo general y en forma tácita, se acepta que un grano almacenado está seguro del deterioro por diversos agentes, una vez que se encuentra en la bodega, descuidando así pequeños detalles, aún más importantes, como la limpieza, la selección y el muestreo de los granos, sobre todo en bodegas pequeñas manejadas por comerciantes o negocios chicos de granos y semillas. Estos granos mal cuidados y manejados deficientemente, quizá de manera involuntaria, al concurrir al mercado local, nacional o mundial de estos productos, tienen una calidad inferior y representan un riesgo para los demás lotes de grano que sí dieron manejados con propiedad y que se reciben en conjunto en los grandes almacenes.

Por otro lado, la única forma de inducir al comerciante o al introductor de granos o semillas, a observar las prácticas adecuadas en el almacenamiento es mediante el establecimiento de normas estrictas de calidad de granos, pero aun bajo un sistema establecido hay gallas como las que representa la infestación interna causada por insectos y por hongos, los que no es posible descubrir fácilmente por los medios normales de muestreo en la recepción de granos y semillas y que pueden dar entrada a granos dañados, los cuales, en breve, serán focos de infestación en el almacén.

- El desconocimiento de los principios de conservación de granos:

Es un hecho comprobado que el manejo y el almacenamiento de los granos, sin emplear procedimientos adecuados para ello, conducen a pérdidas causadas por agentes como la humedad excesiva, las impurezas, la temperatura, las plagas, etc., en tanto que otros factores, deben reducirse hasta alcanzar un límite económico, conveniente y práctico, para garantizar la conservación de los granos y de las semillas.

Básicamente, la conservación de un producto de esta naturaleza depende de la disponibilidad del grano o semilla en buena condición, es decir, sano, limpio y seco, y de la facilidad de tener un troje, bodega, almacén o silo, que mantenga la condición del grano almacenado y lo proteja de los factores adversos, durante un corto o largo periodo de almacenamiento.

El almacén debe proteger al grano de la excesiva humedad, de temperaturas desfavorables, de la presencia y desarrollo de microorganismos, así como insectos y de roedores. Además, debe contar con facilidades mecánicas para la limpieza, el transporte y el almacenamiento, y para la aplicación de las medidas de combate que se consideren pertinentes en cualquier momento.

En las bodegas que manejan y almacenan el grano, con excepción de aquellos productos especiales que requieran cierta modalidad para almacenamiento, generalmente se usan dos procedimientos para efectuarlo: ya sea a granel o en bolsas de manta, papel, plástico o costales de fibra.

El almacenamiento a granel requiere de maquinaria y de equipo especial, y se emplea particularmente para maíz, trigo, sorgo, cebada, frijol, soya, garbanzo y otros granos, habiendo se comprobado que, en almacenes adecuados, tiene muchas ventajas en las prácticas de acondicionamiento y manejo, en comparación con el almacenamiento en envases. Por lo que toca al ataque de insectos y de roedores a problemas con la humedad del grano, este procedimiento de almacenamiento a granel nos presenta más facilidad, ventaja y seguridad que cualquier otro. Además, es mucho más económico en gastos de acondicionamiento, manejo y almacenamiento por unidad de peso o de volumen de grano, que los demás tipos de almacenamiento. Cuando el volumen a granel está infestado por plagas, con más humedad de la debida o cuando el muestreo revela cambios peligrosos en la temperatura, el traspaleo, tratamiento, o su empleo inmediato, se hace más rápido, fácil y barato. Permite además una selección de grano más adecuada para separar el grano por calidades, y, en caso necesario, el secado se efectúa con más sencillez.

Sin duda, el almacenamiento a granel tendrá a desplazar a los otros tipos de almacenamiento por su economía, eficiencia y garantía más clara de conservación de granos y semillas.

2.7.2. IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO DE GRANOS

El alimento es un factor limitante para la nutrición de todos los seres vivientes y la lucha constante para obtenerlo, es una característica biológica de estos organismos. El hombre ha tenido que hacer frente desde tiempo inmemorial, a la competencia con los demás seres vivos por el aprovechamiento de aquellos productos alimenticios que les interesan mutuamente. Para la conservación de su vida.

Los granos y sus productos, constituyen una fuente de nutrimiento para el hombre y para muchos otros organismos y su disponibilidad en un momento dado, significa la satisfacción de una necesidad esencial para el que pueda aprovecharlos primero.

La conservación de los granos alimenticios ha sido, es y será, motivo de preocupación del hombre por su significado en la dieta humana y por la necesidad de resguardarlos contra el peligro que significa su aprovechamiento por sus demás competidores.

2.7.3. NECESIDADES DEL ALMACENAMIENTO

Como es físicamente imposible el consumo inmediato de la producción total de las cosechas de granos alimenticios, el hombre tiene que almacenarlas para consumirlas de acuerdo con sus necesidades nutricionales.

Es común que las áreas de mayor producción de granos se encuentren alejadas de los centros de consumo, lo cual implica el transporte y almacenamiento de esos productos en lugares estratégicos para su distribución oportuna cuando sean requeridos.

El mejoramiento de la técnica agrícola se ha reflejado en los últimos años en incrementos notables en el rendimiento de las cosechas de granos básicos alimenticios por unidad de superficie. Los rendimientos de hace 15 años de trigo, por ejemplo, de 800 kg/ha, se han triplicado; en el caso del maíz, de un promedio de 450 Kg/ha, se ha progresado hasta el doble; en el frijol, de los 300 a 800 kg/ha que se obtenían, en la actualidad se registran rendimientos de 500 a 1000 Kg/ha. Estos incrementos son consecuencia de los resultados de la investigación agrícola, de la apertura de nuevas tierras al cultivo, del mejor aprovechamiento del agua, del empleo de semillas mejoradas, de la facilidad de mayores créditos para la actividad agrícola, del uso de fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fungicidas y del mejoramiento de las prácticas agrícolas, para mencionar las causas más principales. Como resultado de lo anterior, se tiene la imperiosa necesidad de conservar y almacenar mayores volúmenes de granos alimenticios producidos, que forman la reserva necesaria para la alimentación de la población creciente.

La capacidad del aprovechamiento industrial de los granos y cereales es limitada y no es posible establecer, por ahora, las instalaciones que permitan industrializar volúmenes muy superiores a la capacidad actual, en las épocas de recolección o cuando los rendimientos sean altos. La inversión que representa la maquinaria industrial, muy específica, que sólo se emplea por cortas temporadas durante el año, constituye un renglón oneroso que aumenta los costos de producción. Por lo tanto, se hace absolutamente necesario almacenar estos granos, mientras van siendo industrializados, según las necesidades y la capacidad de las instalaciones.

La balanza económica gobernada por la ley de la oferta y la demanda, sugiere la conveniencia de tener existencias de granos y cereales en almacenamiento para evitar las variaciones de los precios y para asegurar el abastecimiento oportuno de esos productos cuando haya escasez de ellos. Esto guiará el gobierno, en su política de producción de los granos y de los cereales que convengan a la economía del país, para asegurar mercado al agricultor y al consumidor, y para el abastecimiento uniforme del producto necesario.

Independientemente del uso de los granos y cereales, ya sea como alimento para el hombre y para los animales domésticos, así como para semilla que asegure la producción de mejores cosechas en el futuro o como materia prima en la industria, es necesario que se almacenen en forma ventajosa y por periodos variables de tiempo, para que se utilicen y consuman de acuerdo con las necesidades de la población.

El almacenamiento de los granos alimenticios, es un proceso costoso que trae implícitos fuertes gastos y problemas de carácter muy complejo, pero es requisito necesario y de una importancia decisiva para la nutrición humana. Los granos y cereales destinados a ser usados como semillas, como alimento o para la industria, están sujetos durante el período crítico de su almacenamiento a pérdidas variables, adicionales a las naturales, causadas principalmente por factores físicos o bióticos.

Los problemas relaticos a la conservación de los granos son muy complejos, por la concurrencia de factores físicos, químicos, mecánicos y biológicos, y puede decirse que muchos de estos factores son específicos de ciertas regiones ecológicas

del mundo; sin embargo, gran parte de la resolución de ellos descansa en la investigación y en el conocimiento de las causas que los originan.

2.7.4. ECOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

2.7.4.1. EL GRANO Y SUS PROPIEDADES

Los granos y las semillas son partes constitutivas de organismos vivientes que respiran y utilizan el oxígeno del aire, producen bióxido de carbono, agua y energía que se traduce en calor. Estas partes constitutivas tienen sus actividades vitales reducidas a un mínimo, es decir, se encuentran en estado de vida latente, por lo que, a simple vista, dan la impresión de hallarse sin vida.

Por esta razón de ser partes de organismos vivos, presentan resistencia a la descomposición por microorganismos y permiten que se les almacene en grandes volúmenes, por tiempos variables y sin deterioro o descomposición, siempre que las condiciones ambientales sean favorables para su conservación.

2.7.4.2. EL GRANO Y EL MEDIO AMBIENTE

Todos los organismos vivientes están sujetos a la influencia de factores físicos, químicos y bióticos del medio ambiente que los rodea. En el caso de los granos y de las semillas, los factores físicos tienen una influencia decisiva sobre su conservación. A los factores físicos como la temperatura y la humedad se les reconoce gran importancia desde el punto de vista del almacenamiento, manejo y conservación de granos y de las semillas, por la gorma tan directa y trascendental en que ejercen su influencia sobre estos órganos vegetales.

Existen, entre otras, tres propiedades de los granos y de las semillas que determinan, en gran parte, su comportamiento o reacción ante los factores ecológicos mencionados, estas propiedades son:

- La baja conductividad térmica:

  Cada grano o semilla tiene, característicamente, una determinada conductividad térmica, es decir, cierta velocidad con la que el calor pasa de las zonas calientes hacia las más frías en la masa del grano, siendo diferente y específica, para los diversos tipos de granos o semillas. En el caso de los conductores sólidos, como los metales, el calor se desplaza del punto de calentamiento con una velocidad más o menos uniforme en todas direcciones e independientemente del tamaño y forma del conductor en particular. En el caso de los granos y semillas, la situación es diferente y la forma, el tamaño y la textura determinan, en parte, la velocidad y conductividad térmica. En general, esta conductividad en los granos y semillas es muy baja y se puede comparar a la que posee el suelo o las maderas blandas. Esto aclara y aplica que, una vez producida una zona de calor en cualquier parte de la masa del grano, el calor se transmitirá con mucha lentitud hacia las pareas frías. Esta es la razón fundamental por la cual la temperatura alta causa tantos daños en los volúmenes de granos que se

encuentran almacenados. Una concentración de calor genera una alta temperatura, la cual es dañina para la integridad física de la materia viviente.

Generalmente los granos se almacenan en grandes volúmenes y dada su característica de baja conductividad térmica, cualquier elevación anormal de la temperatura puede ocasionar serios daños a los granos. En las semillas almacenadas a granel, las áreas calientes por lo general se forman como resultado del alto contenido de humedad del grano que propicia el incremento del metabolismo, la presencia de insectos y poblaciones de hongos y bacterias. La respiración y la producción de calor del grano, combinadas con las de los insectos y las de los microorganismos, producen, en conjunto, la elevación de la temperatura, lo cual afecta, en última instancia, al volumen total del grano. Bajo estas condiciones de calor excesivo, la muerte y la descomposición del grano o de la semilla se producen cierta aceleración.

En las prácticas generales de manejo de los granos y de las semillas, debe tomarse muy en cuenta la conductividad térmica específica en la masa de cada tipo de grano para los fines de conservación. Hay diferentes prácticas que indican la gorma de inactivar o impedir estos núcleos calientes, exponiendo esas áreas a temperaturas más frías mediante la aireación, eliminando así dichos núcleos y evitando el desarrollo de altas temperaturas, que finalmente deteriorarían los granos. Este mismo hecho indica la necesidad del conocimiento de las variaciones de temperaturas en los granos almacenados, para usar esta información en los procedimientos a seguir para efectuar acondicionamientos prácticos, efectivos y económicos, con la finalidad de conservar mejor los granos y las semillas en buenas condiciones durante el almacenamiento.

- Respecto a la capacidad de absorción del agua por los granos y las semillas:

Se sabe que la presencia de agua en la masa del grano implica la combinación de ésta con el material sólido y seco, el cual es variable dentro de determinados límites. El agua se encuentra retenida en los granos y semillas en tres formas diferentes: el agua libre, retenida en los espacios intergranulares, el cual posee propiedades específicas, siendo las moléculas de las sustancias que la soportan, las que sirven para fijarla en esos sitios; el agua absorbida, que se encuentra más asociada con la materia absorbente, existiendo aquí una interrelación entre moléculas de agua y las de las sustancias que constituyen el grano, de tal manera, que las propiedades de una influyen en las propiedades de otras; y el agua combinada, que como su nombre lo indica se encuentra unida químicamente y forma parte integral de las moléculas que constituyen los materiales de reserva o entran en la formación de alguno de los órganos de grano o semillas.

La presencia del agua en el grano en las tres formas mencionadas hace difícil la determinación exactitud de la proporción en que cada una de ellas está representada en el contenido total de agua.

En un sistema bicoloidal como lo es el grano, formarlo de varias sustancias con estructura organizada, el agua retenida se presenta en los diversos tipos descritos, variando desde agua libre hasta agua combinada en forma química. Cuando los átomos se unen para constituir moléculas, se saturan todos los lados

de la cadena química; sin embargo, las moléculas influyen unas sobre otras, mediante fuerzas variables llamas "fuerzas intermoleculares". El agua combinada está fuertemente influida por las fuerzas intermoleculares del grano. Esto se manifiesta por la formación de líquidos y cristales o agregados complejos, o mediante otros tipos de interacción, entre las moléculas del mismo o diferente tipo.

Para dar una idea de la magnitud y de la importancia del contenido de agua e los granos y semillas, basta considerar que cuando se almacenan por ejemplo 1000 toneladas de maíz cuyo contenido de humedad será de 10%, dicho volumen de grano tiene retenidas 100 toneladas de agua.

Cuando el contenido de humedad del grano se incrementa, también lo hace la temperatura; entonces, los insectos, los hongos y las bacterias presentes dentro y fuera de él, se desarrollan rápidamente, porque las condiciones les son favorables, por lo cual es esencial que se utilicen todas las medidas necesarias para mantener el bajo contenido de humedad de los granos y asegurar así su conservación en el almacén.

Hasta aquí se ha discutido brevemente y en forma separada, la relación de la temperatura y la humedad con la masa del grano. La temperatura y el contenido de humedad en lo granos y productos derivados, actuando juntos en el almacén son factores de primordial importancia en la conservación. Siempre que existan diferencias de temperatura en la masa del grano, se presenta el fenómeno de transmisión de calor de las áreas más calientes hacia las más frías. Asimismo, la humedad se transmite del grano más caliente, hacia el más frío, en donde se condensa y cambia el contenido de humedad en este sirio específico. Sin embargo, la interrelación de ambos factores es difícil de estudiar y analizar con precisión y, a la vez, la más importante con respecto a la conservación durante el almacenamiento de los granos. El fenómeno de transmisión del agua en la masa del grano cuando los gradientes de temperatura se establecen, es uno de los factores más importantes en el almacenamiento de granos, siempre que en la masa de éstos exista diferencia de temperatura, debido a que hay un movimiento del agua de las áreas más calientes hacia las partes más frías como se estableció anteriormente. Este movimiento se acentúa más en los puntos de contacto con las áreas calientes o frías; por ejemplo, cuando el grano caliente está en contacto con superficies frías o con corrientes de aire, como ocurre cuando el grano caliente se coloca directamente en contacto con pisos fríos de cemento o cuando se coloca contra las paredes o pilares que soportan el volumen del grano. Cuando el grano, por naturaleza mal conductor del calor, se pone en contacto con materiales fríos y que sean relativamente buenos conductores del calor, éstos cambian la temperatura con rapidez, pero el grano, por su conductividad específica, lo hace con lentitud.

Como ya se indicó, el fenómeno que se efectúa de inmediato, es que la humedad se transmite del grano caliente hacia el grano frío o a las superficies frías, en donde se deposita por condensación. Este fenómeno y su desarrollo, producen áreas muy localizadas con el más alto contenido de humedad, en las

cuales se favorece la actividad del grano, de los insectos y de los microorganismos, lo que, a su vez, produce calor por el metabolismo, lo que finalmente da por resultado, núcleos o zonas peligrosas que eventualmente pueden extenderse a través de la masa de los granos.

- La naturaleza porosa del grano:

Los granos tienen una estructura porosa y se sabe que, debido a esa porosidad, existe el fenómeno de la difusión del aire a través de la masa. Esta difusión del aire, a través de la masa, es muy lenta y por sí sola, no es capaz de eliminar cualquier exceso de humedad o de temperatura de la masa del grano, cuando se encuentra éste bajo buenas condiciones de almacenamiento.

Quedó establecido anteriormente que los granos o semillas son órganos cuyas actividades vitales están muy reducidas, lo que les permite permanecer en reposo aparente. La actividad de los granos, al igual que la de los animales, se manifiesta por la producción de energía, a partir de las sustancias elementales de reserva mediante los procesos respiratorios. La velocidad de la respiración en los granos está íntimamente ligada con la disponibilidad de oxígeno y es función de la temperatura, así los granos húmedos se calientan más que los granos secos y mientras exista oxígeno disponible puede llegar este calentamiento hasta la destrucción de los granos por el efecto adverso de las altas temperaturas, y aun hasta la ignición mismo.

El agua contenida en el grano, actúa como elemento de hidratación de los tejidos; los coloides de las células forman una especia de gelatina elástica permitiendo que el oxígeno y el bióxido de carbono se difundan con mayor rapidez en la masa individual de la semilla. El fenómeno de difusión de los gases es directamente proporcional a la elasticidad de las sustancias gelatinosas, y como al disminuir el contenido de agua disminuye también dicha elasticidad, automáticamente decrece el intercambio de los gases de la respiración, por lo que la actividad vital del organismo, el grano en este caso, decrece. Finalmente, el aumento de la respiración de los granos hace que se genere y libere mayor cantidad de energía que se transforma en calor, aumentando así la temperatura del volumen de granos almacenados en las condiciones que se han considerado.

Los factores químicos, como el oxígeno y el bióxido de carbono influyen poderosamente, como se ha descrito, sobre la condición de los granos y semillas almacenados. Esta influencia está relacionada con la porosidad individual y volumen mismo de loa granos, así como también con su respiración y aereación. La influencia que los factores bióticos, como los insectos y los microorganismos, tienen sobre los volúmenes de granos almacenados, es de mucha importancia. La presencia de poblaciones de dichos organismos causa perjuicios considerables a los granos y a sus productos almacenados, originando su demérito y hasta la pérdida total desde el punto de vista agrícola, económico, industrial y nutritivo.

2.7.4.3. CALENTAMIENTO ESPONTÁNEO

El llamado calentamiento "espontáneo" de los granos almacenados, se debe al proceso respiratorio realizado por organismos vivientes. EL bajo calor específico de los granos impide que los calentamientos, que se originan casi siempre en las zonas más húmedas de la masa, se disipen fácilmente a través del volumen de grano y por esto, la temperatura de los granos en una zona reducida, se incrementa. Este aumento de temperatura acelera más aún la velocidad de respiración de los granos y esas regiones y es así como continúa ascendiendo la temperatura. Por otro lado, como el alto contenido de humedad de los granos favorece el desarrollo de las poblaciones de insectos y microorganismos cuando éstos están presentes, su respiración contribuye, a su vez, a incrementar más la temperatura del volumen de grano considerado, produciéndose entonces una sucesiva elevación en la temperatura, originando el fenómeno que se denomina "calentamiento espontáneo" por la rapidez con la que éste se desarrolla. Cuando se almacenan granos o semillas secos, o cuyos contenidos de humedad son los adecuados, y, además, se encuentran limpios y sin infestación de insectos o microorganismos, la respiración de dichos materiales es relativamente baja, de tal manera que el fenómeno de calentamiento espontáneo no tiene lugar bajo estas condiciones de almacenamiento, aun en los casos de periodos largos de permanencia en las bodegas.

2.7.5. ACONDICIONAMIENTO DE LOS GRANOS

El grano húmedo roto o dañado, respira con mayor rapidez, bajo las condiciones, que los granos enteros y menos húmedos; por ejemplo, los porcentajes de humedad recomendada para el almacenamiento de algunos granos alimenticios son de 11 a 13% para el maíz; 11 a 14 % para el trigo; 11 a 13% para la cebada y avena; de 10 a 11% para el sorgo y soya; y 14% para el arroz; en algunos casos, el menor contenido de humedad es el que se recomienda para el almacenamiento mayor de un año. Con humedades más altas, todos los granos consumen más nutrientes y producen más energía, la cual propicia su fácil calentamiento y la pérdida de su poder germinativo. Los granos dañados por las heladas, contienen porcentajes más bajos de nitrógeno proteínico y de azúcares, comparados con los granos no sujetos a este factor físico.

En el proceso de conservación de granos y semillas almacenados. Los procedimientos generales para el acondicionamiento de granos, comprenden el cribado y la selección, el traspaleo o cambio de lugar, la aereación o ventilación, el secado, y la eliminación de las plagas presentes.

Los cambios de temperatura influyen sobre la temperatura de la masa o volumen de granos almacenados.

2.7.6. PROCESO DEL GRANO

Los almacenes modernos, en donde generalmente se depositan grandes volúmenes de granos, deben llenar los requisitos indispensables para garantizar su

conservación, por lo que se consideran como sitios de almacenamiento permanente, es decir, sitios en los cuales los granos son depositados por uno o más años. El manejo del grano en los almacenes modernos requiere de un tipo de maquinaria indispensable para darle el movimiento y acondicionamiento adecuados desde su recepción hasta su distribución o venta.

Las actividades en las bodegas y almacenes de este tipo, pueden dividirse en tres grupos de operaciones necesarias: la recepción, el acondicionamiento y el almacenamiento del grano. Estas operaciones en proporciones variables y en función del almacén o bodega, son las que determinan, en función del equipo disponible y del procedimiento seguido, la conservación que pueda esperarse de los productos que en esas bodegas o almacenes se depositen.

Las secciones de recepción y de acondicionamiento del grano son las que contienen la mayor parte del equipo y de la maquinaria existentes en este tipo de almacenes, en proporción de su volumen de recepción y almacenamiento. Parte de la maquinaria como las secadoras, por ejemplo, no es usada en forma continua y solamente durante la recolección de granos se somete a su máxima utilización, lo que sucede después de las cosechas, cuando el grano empieza a ser llevado al almacén por diferentes medios de transporte, ya sean terrestres o acuáticos.

Los vehículos de transporte del grano son conducidos al lugar de recepción, donde generalmente se pesan mediante básculas especiales y se obtienen muestras de los productos que se reciben, para ser analizados en los laboratorios disponibles en esos almacenes y así determinar su condición de recibo. Cuando el grano llega a granel en carros de ferrocarril, en camiones o en barcos, la descarga se hace mediante volteo directo, fondo caldizo, por tablas planas movidas por un malacate que hacen las veces de palas, o mediante modernos sistemas neumáticos de carga y descarga, empleados comúnmente en los barcos. Estos métodos tienen la ventaja de ahorrar tiempo y ocupar menor número de operarios, sin exponerlos en costales o envases, el trabajo de acarrear y abrir éstos es muy laborioso y roma mucha mano de obra y tiempo para efectuarse, lo cual es una desventaja económica, particularmente cuando hay gran cantidad o volumen de grano por descargar y manejar.

El grano descargado en las tolvas de recibo, de tipo rejilla al nivel del piso, es transportado automáticamente por sistemas de bandas sinfín de caucho o metálicas situadas a nivel inferior de las tolvas de recibo, las cuales transportan horizontalmente le grano de un sitio a otro. La ventaja de estos conductores es que efectúan un trabajo rápido y eficiente, sin romper ni dañar el grano y con un mínimo de labor manual. Estas bandas conducen el grano a los elevadores.

Los elevadores están formados por sistemas neumáticos o por bandas sinfín en sentido vertical, que contienen en la cara externa recipientes adheridos (cangilones) que toman el grano depositado por el sistema horizontal de banda sinfín y lo elevan a recipientes (tolvas) que lo retienen, para luego ser enviado a las diferentes dependencias de la unidad.

El grano tiene que ser pesado a la entrada y a la salida del almacén. Las básculas de recepción tienen capacidad desde cientos hasta miles de toneladas, lo

que depende de la capacidad del almacén; las básculas en el interior de éstas son de diferentes capacidades, pero las automáticas, empleadas más comúnmente, son las que dan los mejores resultados. (Ramírez Genel, 1966)

CAPÍTULO III:
PROCESO ACTUAL DEL LLENADO DE CAMIONES

El despacho del producto se lleva a cabo mediante camiones, siendo éstos bateas, Etelvina, carros, ramplas. Las cuales deben pasar tres etapas:

- Etapa 1: Mediante básculas se hace el pesaje en vacío del camión, llamado tara, el cual se encuentra entre 14000 y 17000 kg. aproximadamente.

- Etapa 2: El camión se traslada a un lugar medianamente cerrado llamado Pavo.

Figura 3-1: Pavo

Fuente: Propia

Figura 3-2: Pavo con camión cargando

Fuente: Propia

Al ingresar el lugar queda con pocos espacios libres.

En esta etapa se hace el llenado de producto al camión, donde dos personas mediante una hoja pre calculada (Tabla 3-1), deben verificar cuánto tiempo deben dejar abierto el paso de producto, tomando en cuenta que los camiones deben tener un pesaje máximo de salida de 45000 kg. Cabe destacar, que esté siendo manipulado por una persona, donde el ambiente de carga es con poca visibilidad por el polvo que emite el despacho de los granos, como también una posible desconcentración, esta carga no pasa a ser muy exacta, por lo que posteriormente el camión pasa el límite de pesaje (45000 kg.) o le falta producto para el total llenado.

Tara	Bruto (Constante)	Neto	Tiempo (min)	
			Maíz	Soya / Trigo
14000	44800	30800	5,22	4,57
14050	44800	30750	5,22	4,57
14100	44800	30700	5,21	4,56
14150	44800	30650	5,21	4,56
14200	44800	30600	5,2	4,55
14250	44800	30550	5,19	4,54
14300	44800	30500	5,19	4,54
14350	44800	30450	5,18	4,53
14400	44800	30400	5,18	4,53
14450	44800	30350	5,17	4,52

Tabla 3-1: Hoja pre calculada para la carga de camiones en función del tiempo

Fuente: MercoExpress – San Antonio

Tara: pesaje de entrada del camión en vacío (sin producto).

Bruto: Pesaje máximo que puede despacharse un camión, por Decreto 158.

Neto: Cantidad de producto que llevaría el camión en casos óptimos (Bruto – Tara).

- Etapa 3: Mediante básculas se hace el pesaje de verificación para poder emitir la boleta y despachar el camión sin problemas con su tonelaje respectivo si estuviese cumpliendo.

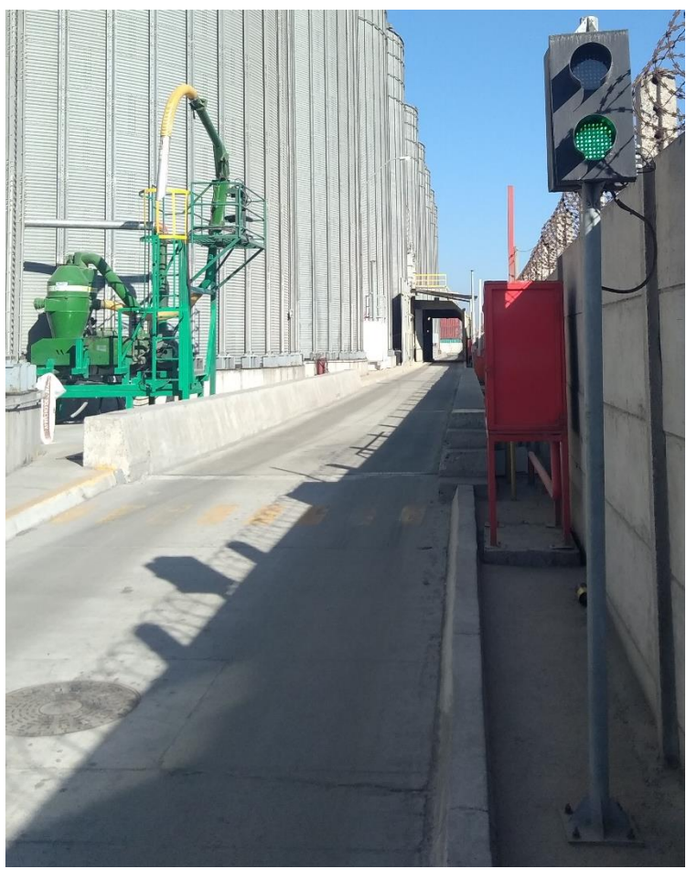


Figura 3-3: Báscula Norte

Fuente: Propia

Tomado en cuenta estas etapas, si falta producto se debe realizar la etapa dos y tres nuevamente. Si sobra producto, mediante paleo manual sacaban el producto restante los propios cargadores. Actualmente si sobra producto utilizan un nuevo método que se implantó este verano 2019, la Walinga, teniendo el contra que necesita otro operario para succionar el producto en la báscula de salida, y debe estar en comunicación con la persona de romana para que llegue al peso exacto.

Figura 3-4: Walinga

Fuente: Propia

3.1. PROCESO SEMIAUTOMÁTICO

Se dará la explicación en forma sencilla de cómo se realiza secuencialmente la toma de datos, el traspaso y ejecución de éstos, llevado a cabo en la planta de Silos, San Antonio, para así lograr despachar el camión como se necesita:

El sistema semiautomático se comienza con el dato obtenido en la primera báscula (tara), mencionada en "Etapa 1". Posteriormente, la tara obtenida se visualiza y guarda en un Controlador en conjunto al computador ubicado en romana. El romanero le transmite la tara del camión al operario del pavo para que, mediante la hoja pre calculada, mencionada en "Etapa 2", sepa cuánto tiempo debe hacer el llenado el camión. Para lograr iniciar el llenado del producto al camión, el operario aprieta una botonera On/Off para que la compuerta mediante el accionamiento de un motor bajo el Silo pulmón (lleno de producto previo para cargar el camión) se abra y deje pasar el producto.

Figura 3-5: Compuerta bajo silo pulmón

Fuente: Propia

Terminado el tiempo de la hoja pre calculada, el operario aprieta la botonera On/Off para hacer el mismo procedimiento de la compuerta, pero esta vez para el cierre de ésta. Mediante se hace este proceso de carga, el otro operario debe estar avisando al camión que vaya avanzando para poder ordenar el producto dentro del camión, y no se forme un cono mal distribuido dentro.

Luego, el camión deben ubicarlo en la segunda báscula para verificar el Neto ideal, mencionada en “Etapa 3”. Al tener el tonelaje ideal para despachar, se emite la boleta con el controlador que se había mencionado en conjunto al computador y el romanero.

CAPÍTULO IV:
DISEÑO Y SOLUCIÓN

4.1. CÁLCULO DEL FLUJO

El cálculo completo fue en base a la hoja pre calculada del producto, "Tabla 3-1". Para así llevar a cabo una buena cotización, se necesita la densidad, el caudal, las Tn/h, y los productos transportados.

4.1.1. DENSIDAD

Teniendo la densidad:

DENSIDAD APARENTE	
PRODUCTOS AGRICOLAS SOLIDOS	**DENSIDAD (kg/m3)**
Maíz, granos	700- 820
Soja, granos	720 - 800
Trigo	750 - 840

Tabla 4-1: Densidad aparente

Fuente: http://www.fao.org/3/x5041s/x5041S09.htm

Se dejó para el cálculo el valor mínimo de 700 $\frac{kg}{m^3}$ y el valor máximo de 840 $\frac{kg}{m^3}$ de la densidad.

$$\textbf{Densidad mínima} = 700\ \frac{kg}{m^3}$$

$$\textbf{Densidad máxima} = 840\ \frac{kg}{m^3}$$

4.1.2. MASA

En base a la "Tabla 3-1", se dejó en referencia el mayor Neto despachado a un camión, 30.800 kg.

Masa = 30.800 Kg.

4.1.3. VOLUMEN

Con la masa y la densidad mencionadas, se calcula un volumen mínimo y un volumen máximo:

$$\textbf{Volumen} = \frac{\textbf{Masa}}{\textbf{Densidad}}$$

Ecuación 4-1: Volumen

Fuente: Internet

$$\textbf{Volumen mínimo} = 33{,}67\ \mathbf{m^3}$$

$$\textbf{Volumen máximo} = 44\ \mathbf{m^3}$$

Posteriormente, se comparó con el volumen de camiones para el producto, teniendo la misma cantidad de volumen que pueden llevar en la vida real. Por lo tanto, de esta forma se comprueba que el cálculo está bien hecho.

4.1.4. TIEMPO

De igual forma que la masa, el tiempo se dejó en referencia a la "Tabla 3-1", tomando el mayor tiempo, 5,22 min.

$$\textbf{Tiempo} = 5{,}22\ \textbf{min}$$

4.1.5. CAUDAL

Sabiendo que en el volumen hay mínimo y máximo, también el caudal se tendrá valor mínimo y máximo:

$$\textbf{Caudal} = \frac{\textbf{Volumen}}{\textbf{Tiempo}}$$

Ecuación 4-2: Caudal

Fuente: Internet

$$\textbf{Caudal mínimo} = 421.46\ \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{h}}$$

$$\textbf{Caudal máximo} = 505{,}75\ \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{h}}$$

Dejando como prioridad el caudal máximo para la cotización:

$$\textbf{Caudal máximo} = 505{,}75\ \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{h}}$$

4.1.6. MASA/TIEMPO

También para la cotización, se necesita cuántos kilógramos están pasando por una cantidad de tiempo, por lo que se decide calcular, tomando de referencia los valores mayores de la "Tabla 3-1":

Bruto (Constante)	Neto	Tiempo (min)		masa (kg)/tiempo (h)	
		Maíz	Soya / Trigo	Maiz	Soya/Trigo
44800	30800	5,22	4,57	354022,99	404376,37

Tabla 4-2: Masa/Tiempo calculados

Fuente: Propia

Tomando de referencia el valor mayor para la cotización:

$$\frac{\textbf{Masa}}{\textbf{Tiempo}} = 405\ \frac{\textbf{Tn}}{\textbf{h}}\ \textbf{aprox.}$$

4.2. SELECCIÓN DE CAUDALÍMETRO PARA SÓLIDOS

Teniendo los datos calculados y explicados, se escoge un medidor de flujo para sólidos, sabiendo que debe poder transportar más de un producto en diferentes momentos, como también el entorno que debe soportar (polvo, humedad, etc.). El más idóneo es el medidor de flujo por impacto, la balanza de impacto M-500, ya que a la vez tiene un simple funcionamiento, una mejor instalación por espacios reducidos en el interior, buen porcentaje de precisión, no necesita intervención de la línea de producción, y fácil instalación para el conjunto de implementos que más adelante se mencionarán.

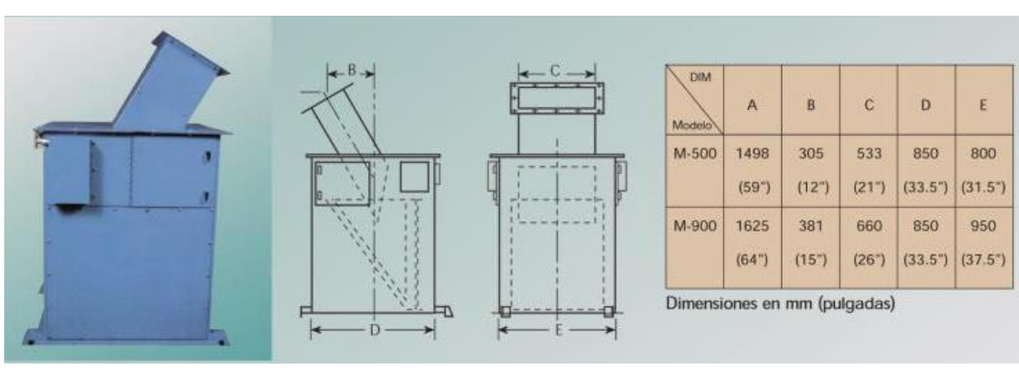


Figura 4-1: Balanza de impacto M-500

Fuente: Cotización Gregorutti & Asociados

Balanza de pesada continua para flujo de sólidos basado en una placa de impacto con celda de carga. Permite obtener precisiones del 99% dependiendo del producto a medir y de las condiciones de instalación.

Construido en acero con recubrimiento epoxi, instrumentado con celda de carga Keli Sensor Ltd. (precisión, fiabilidad, resistente) hermética con membrana encapsulada, de capacidad adecuada al requerimiento, cuenta con sello de aprobación NTEP. National Conference on Weights and Measures, máxima exigencia metrológica de USA.

4.3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

De igual forma para la automatización, se opta por instalar un tablero de control de flujo con el controlador digital de peso, tomando en cuenta las mismas condiciones de instalación de la balanza de impacto, siendo seleccionado el ITW-380, para así estar enlazado con el controlador que se encuentra en la Planta Silos, San Antonio, y trabajar en conjunto con la información.

Figura 4-2: Controlador ITW-380

Fuente: Cotización Gregorutti & Asociados

Este controlador digital está especialmente concebido para el manejo de celdas de carga digitales para pesaje dinámico a alta velocidad o para celdas analógicas en una simple plataforma o estructura. Ideal para configurar dosificadoras, llenadoras, control por pérdida de peso, flujo de sólidos, centrales de pesada.

El tamaño de los caracteres es configurable permitiendo adaptar la pantalla a la información requerida. La inclusión de barras facilita la visualización rápida del

avance del proceso. Es posible programar mensajes que guíen al operador en cada función. Las teclas pueden ser definidas por el usuario para que en cada pantalla tengan funciones distintas acordes al proceso mostrado. Presenta mensajes estables para alertar al operador sobre el estado de los puntos de corte y sus funciones. Las teclas táctiles de alta resistencia permiten una gran exactitud en la carga de datos y seteos del equipo. La capacidad de la pantalla permite ver el peso de 28 balanzas en forma individual y la combinación de varias.

Tiene una pantalla gráfica de LCD retroiluminada de 320x240 pixeles, 120x95 mm. Diez teclas-soft desplegadas alrededor de la pantalla, navegador de menú, teclado alfanumérico, cero, tara e impresión, encendido y apagado. Con configuración y calibración desde le frente o puerto serie. Su gabinete es de acero inoxidable con frente de membrana. Cuenta con 100 mil divisiones externas y 1 millón de divisiones internas. Seteable para operar en 20, 100, 600 ó 1000 conversiones por segundo. Además 4 puertos RS 232 (600 a 19200 baudios) más un puerto RS 485 (opcional), 4 salidas PWM, 16 entradas TTL, 16 salidas TTL. Y lo más importante con set points programables, para poder controlar.

Figura 4-3: Tablero con controlador ITW-380

Fuente: Cotización Gregorutti & Asociados

El tablero de control de flujo desarrollado con el controlador digital de peso ITW-380 de alta velocidad, permiten visualizar todas las variables y estados de la balanza, caudal instantáneo en kg/h, caudal acumulado, corte por caudal acumulado, alarmas de parada de máquina, etc. Cuenta con teclado numérico con teclas de funciones para fácil operación. La construcción apta para montaje en tablero o sobre pared, el teclado es aprueba de polvo y construido en policarbonato. Gran pantalla de LCD, cuenta con memoria para códigos de producto para así tener medir con gran exactitud el flujo de distintos productos por sus distintas densidades.

Tablero de acero inoxidable o acero recubierto con pintura termoconvertible en polvo poliéster.

4.4. COSTOS

El presupuesto está administrado con Gregorutti & Asociados S.A., Argentina, Al momento de realizar la compra, se limita y categoriza con la entrega de sistemas calibrados y listos para instalar con manuales de montaje, mantenimiento y calibración, ayudando de esta manera a ahorrar costos asociados a empresas externas para realizar la calibración. La puesta en marcha contempla la disponibilidad de un técnico por un día, a cargo de Gregorutti & Asociados S.A., justificando de mejor manera el ahorro de los costos para todo el sistema, sólo se debe hacer cargo de los pasajes aéreos y gastos de estadía del técnico durante la misma.

Además, Gregorutti & Asociados S.A. garantizando el buen funcionamiento, valida la reparación, reposición o reemplazo de las partes del equipo por ella fabricadas por el término de 12 meses a partir de la fecha de factura.

Se llevará a fabricar un codo de acople para la unión de la balanza y el transportador sobre el pavo, siendo la misma empresa que utilizan para la renovación de ductos.

Por otra parte, en Planta Silos San Antonio, se encuentran mecánicos y eléctricos para hacer la instalación apropiada, por lo que no se necesitarán personas externas, también se agregarán 2 días a la disponibilidad del técnico, para así prevenir anomalías por tiempos acotados, un entendimiento mejor del sistema y dejar más personas capacitadas para cualquier inconveniente.

Cotización	Dólares Estadounidenses U$S	Peso Chileno $ (variable)
Balanza de impacto M-500 de 59"	23.740	17.180.163
Relé de corte programable	385	278.617
Rollo de cable de señal (100 metros)	420	303.946
Día Adicional de puesta en marcha	2x148	214.213
Pasajes para el técnico	207	150.000
Gastos de estadía	207	150.000
Flete Argentina-Santiago	918	667.019
Seguro Mercadería	178	129.335
Fabricación e instalación codo	413	300.000
Total	26.764	19.373.293

Tabla 4-3: Presupuesto

Fuente: Cotización Gregorutti & Asociados

De esta manera el costo total será de $18.576.939 logrando obtener todo el conjunto solución del problema planteado.

4.5. REFERENCIA DE INSTALACIÓN

Logrando incorporar toda la línea y equipos en la instalación del proceso, se tendrá un sistema funcionando de esta manera:

Figura 4-4: Referencia de instalación

Fuente: Cotización Gregorutti & Asociados

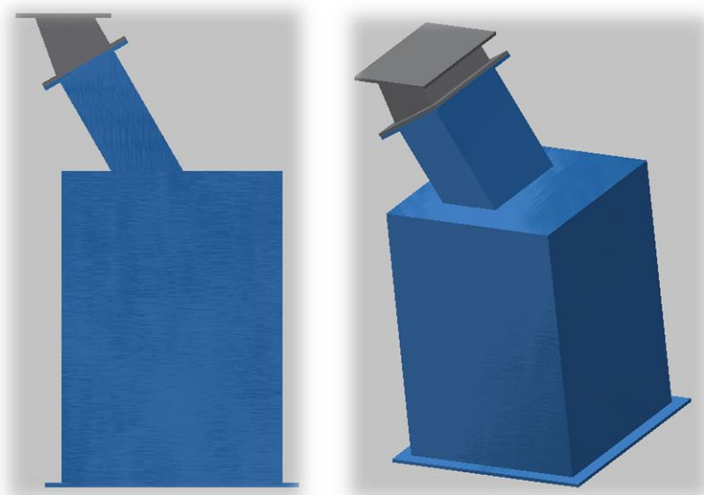


Figura 4-5: Referencia de instalación

Fuente: Propia

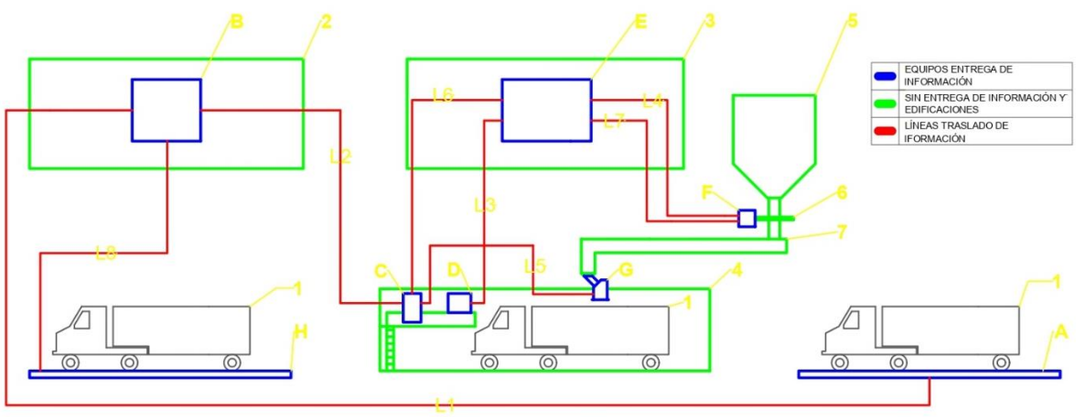


Figura 4-6-: Referencia de instalación línea completa

Fuente: Propia

EQUIPOS ENTREGA DE INFORMACIÓN	A	BÁSCULA INICIO PROCESO
	B	CONTROLADOR DE ROMANA
	C	CONTROLADOR ITW 380 CON TABLERO
	D	BOTONERA ON/OFF
	E	TABLERO DE CONTROL
	F	MOTOR ABERTURA/CIERRE DE COMPUERTA
	G	BALANZA DE IMPACTO M-500
	H	BÁSCULA SALIDA PROCESO
SIN ENTREGA DE INFORMACIÓN Y EDIFICACIONES	1	CAMIÓN PARA LLENADO
	2	ROMANA
	3	SALA DE CONTROL
	4	PAVO
	5	SILO PULMÓN
	6	COMPUERTA BAJO SILO PULMÓN
	7	TRANSPORTADOR DE CADENA
LÍNEAS TRASLADO DE INFORMACIÓN	L1	
	L2	
	L3	
	L4	
	L5	
	L6	
	L7	
	L8	

Tabla 4-4: Referencia de instalación línea completa

Fuente: Propia

Desde la báscula en el inicio del proceso se tara el camión, para obtener la información el controlador de la romana, luego esta información es trabajada en conjunto al controlador instalado ITW-380. Cuando el camión esté listo para ser cargado en el pavo, el operador presiona la botonera por señal On/Off que, con la ayuda del tablero de la sala de control, hace el accionamiento de abertura de la compuerta bajo el silo pulmón. Al recibir la información de tonelaje traspasado por la balanza de impacto M-500 requerida para el camión, envía la información al nuevo controlador ITW-380, comunicándose en conjunto al tablero de la sala de control, hace el accionamiento del cierre de la puerta bajo el silo pulmón. Como se había mencionado, el ITW-380, trabaja con el controlador de la romana, llevando la información de cuánto fue la carga realizada al camión. Además, puede ser comprobada la carga como acción de respaldo con la báscula de la salida del proceso.

Finalmente cabe destacar que, para tener una mayor exactitud en la carga, se debe descontar la carga que queda en el transportador bajo el silo pulmón, ya que posterior al cierre de la compuerta, queda producto en el transportador que seguirá cayendo hasta ser vaciado, por esto se hace el siguiente cálculo.

El transportador avanza a 0,75 $\frac{m}{s}$ y la longitud del transportador es de 8 a 10 metros, dejando en promedio 9 metros:

$$\textbf{Velocidad} = \frac{\textbf{Distancia}}{\textbf{Tiempo}}$$

$$\textbf{Tiempo} = \frac{\textbf{Distancia}}{\textbf{Velocidad}}$$

Ecuación 4-3: Tiempo

Fuente: Internet

$$\textbf{Tiempo} = \frac{9\ \mathrm{m}}{0{,}75\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}$$

$$\textbf{Tiempo} = 12\ \mathrm{s}$$

Por lo tanto el tiempo a descontar en la configuración del controlador como general es de 12 segundos.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Es de gran ayuda interiorizarse en lo básico de los fluidos desde un comienzo, para así tener un mejor entendimiento de lo leído y análisis durante el procedimiento del proyecto. De igual forma con los medidores de flujo, se logra diferenciar en cómo se hace la medición y cuál es más efectiva para los productos de granos. Además, capacitarse intelectualmente en el proceso de la Planta de Silos, hace mejorar la precisión y distinción en los acontecimientos que sucedan.

En modo de conclusión, la instalación de este método de medición es de gran falta por la acumulación de tiempos perdidos, ayudando a una automatización más efectiva en el proceso, que enlazada con el sistema que se tiene, mejorará rotundamente al buen funcionamiento y manejo de despacho.

Es importante mencionar que toda mejora en una empresa es necesaria para la actualidad, ya que se impone ante la competencia con la confiabilidad y fiabilidad al cliente, siendo esto lo más importante en la industria hoy en día. Logrando de esta manera la responsabilidad del almacenaje y despacho del producto al cliente como al transportista.

Como recomendación se incentiva a la actualización de la automatización que logra diferenciar para resaltar ante otros, logrando de esta manera minimizar los accidentes por las personas, como también las acciones más inmediatas y precisas en el sistema.

Idealmente priorizar el aumento de días que esté el técnico para la instalación, estimando una mejora en el personal como confiabilidad en el sistema. De esta manera prevenir posibles limitaciones a futuro.

Además, enlazar de mejor manera los datos obtenidos en los controladores, para así con mucho menos trabajo puedan obtener las boletas a entregar a transportistas, minimizando así el trabajo del romanero como la posibilidad de tener una equivocación, pudiendo ofrecer más apoyo a las demás instalaciones que hoy en día en la empresa lo necesita y no haya un colapso del trabajador.

Se estima conveniente instalar este mismo sistema de balanza en el flujo de producto interno de la planta, para así tener una noción clara de cuánto producto exacto le quedan a los Silos, llevando a cabo una mejor mantención y limpieza programada de los equipos e instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

A. Carrara, N. (Semptiembre de 2019). *GA - GREGORUTTI*. Obtenido de GA - GREGORUTTI: www.gregorutti.com.ar

Barros Amigo, F. S. (2018). *Diseño de un banco de calibración de flujómetros integrado en las instalaciones del laboratorio de termofluidos del departamento de Ingeniería Mecánica.* Valparaíso.

Beltrán P., R. (1990). *Introducción a la mecánica de fluidos.* Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes.

Kane, J., & Sternheim, M. (1989). *Previa - uclm*. Obtenido de https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/Farmacia/T05_Fluidos.pdf

Laukkanen, V., & Maron, B. (Septiembre de 2012). *MAPLA*. Obtenido de https://www.cidra.com/sites/default/files/document_library/BI0469-sp_MAPLA_2012_Technical_Paper.pdf

Marín, F. C. (2013). *Transporte Neumático.* Valparaíso: USM.

Möller, O., Signorelli, J., & Storti, M. (Noviembre de 2011). *Mecánica computacional - cimec*. Obtenido de https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/3930/3847

No son líquidos. (s.f.).

Ramírez Genel, M. (1966). *Almacenamiento y conservación de granos y semillas.* Calzada de Tlalpan, México: Continental S.A.

S.A., G. &. (s.f.). *Gregorutti & Asociados S.A.* Obtenido de http://www.gregorutti.com.ar/

Salinas, A. R. (2010). *Escurrimiento de fluidos - Aplicaciones.* Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.

Siemens. (2015). *Caudalímetros para sólidos*. Obtenido de https://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/wt/WT10/es/WT10_es_kap06.pdf

Siemens. (s.f.). *Por amor al grano, Soluciones para la industria del grano - Siemens*.

V. Giles, R., B. Evett, J., & Liu, C. (1994). *Mecánica de los Fluídos e Hidráulica, Tercera Edición.* Madrid, Buenos Aires: Mc. Graw - Hill.