

PROCESO DE FABRICACIÓN DE CEMENTO



Año	Descripción
800 AC.	Griegos y Cretenses usaron morteros de cal que vinieron hacer mas tarde la base del famoso Mortero Romano.
300 AC, – 476 DC.	Los Romanos usaron cal y cenizas volcánicas de Puzzoli, Italia , para la construcción, destacando entre ellas la Vía Apia, baños Romanos, el Coliseo y el Panteón en Roma. Usaron leche y sangre de animal como aditivos en las mezclas que hacían con dos partes de puzolana y una parte de cal , estas estructuras existen hoy en día
1796	James Parker patentó en Inglaterra un cemento hidráulico natural producido por la calcinación de nódulos de caliza impura conteniendo arcilla y se denominó Cemento Parker o Cemento Romano.
1834	El Inglés Joseph Aspdin patentó el Cemento Portland por la calcinación de una mezcla caliza y arcilla finamente divididos. El producto calcinado fue molido y se le dominó Cemento Portland por su similitud que tenia con las piedras de las canteras de Portland, Inglaterra.
1886	El primer horno rotatorio fue utilizado para la producción de Clinker para cemento Portland, reemplazando los hornos verticales.
1906	Se instala la primera fábrica para la producción de cemento en la República Mexicana.

ETAPAS DEL PROCESO



EXPLORACIÓN

TRITURACIÓN

PREHOMOGENEIZACIÓN

MOLIENDA DE CRUDO

HOMOGENEIZACIÓN

CALCINACIÓN

MOLIENDA DE CEMENTO

ENVASE

EMBARQUES

¿QUE ES EL CEMENTO PORTLAND?

Es un **conglomerante** formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la **propiedad de endurecer al contacto con el agua.**

MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CLINKER

Materia	Minerales	Óxidos que aportan
Calcareo	Caliza, Creta, Marga, etc.	Calcio, Sílice, Aluminio y Fierro
Arcilloso	Arcilla, Pizarra, Caolín, etc.	Sílice, Aluminio y Fierro.
Correctores	Arena, Bauxita y Mineral de Fierro.	Sílice, Aluminio y Fierro

¿DE QUÉ ESTÁ HECHO EL CEMENTO?

CLINKER:

- Caliza
- Arcilla
- Corrector (mineral de fierro, bauxita, arenisca, etc.)

+ YESO:

- ### **+ (ADICIONES):**
- Puzolana, caliza, escoria, etc.

MATERIAS PRIMAS

Caliza : (CaO) 80%

Arcilla : $(\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3)$ 17%

Mineral
de Fierro : (Fe_2O_3) 3%



HARINA CRUDA

$\text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$



CONTROL DEL PROCESO

VARIABLES DEL PROCESO

I EXPLORACIÓN

- 1.- Tamaño del material.
- 2.- Composición química.

II TRITURACIÓN

- 3.- Proporción de materia prima al triturador.
- 4.- Tamaño de material de salida.

III PRE-HOMOGENEIZACIÓN

- 5.- Uniformidad del material.

IV MOLIENDA DE CRUDO

- 6.- Dosificación de materia prima.
- 7.- Finura de harina cruda.

V HOMOGENEIZACIÓN

- 8.- Uniformidad de harina cruda.

MÓDULOS DE LA HARINA CRUDA

Factor de Saturación de Cal

Se define como la disponibilidad de cal, dada por una formula matemática que permite calcular el contenido óptimo de oxido de calcio en la harina cruda.

$$FSC = \frac{\%CaO * 100}{2.8 * \%SiO_2 + 1.18 * \%Al_2O_3 + 0.65 * \%Fe_2O_3}$$

El **FSC** ofrece gran información durante la formación de Clinker, puesto que valores entre 90 y 100% indican gran facilidad para completar las reacciones químicas.

El **FSC**, es responsable de las resistencias del cemento, por medio de la formación de los minerales de Bogue; **Los Silicatos de calcio**

MÓDULOS DE LA HARINA CRUDA

Módulo de Sílice

Se define como la relación de los sólidos y líquidos que favorecerán su difusión y por lo tanto rebajaran la temperatura de clinkerización o calcinación.

$$MS = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}$$

Usual

$$2.0 < MS < 3.0$$

MS < 2 → Cocción fácil, exceso de fase líquida, excesivo espesor de costra, Clinker duro.

MS > 3 → Cocción difícil, escasa fase líquida, cargas térmicas elevadas, escaso espesor de costra, alta carga térmica para lograr cocer, Clinker polvoriento.

MÓDULOS DE LA HARINA CRUDA

Módulo de Alúmina

Se define como la relación de los sólidos y líquidos que favorecerán su difusión y por lo tanto rebajaran la temperatura de clinkerización o calcinación.

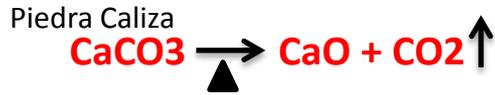
$$MA = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3}$$

Usual

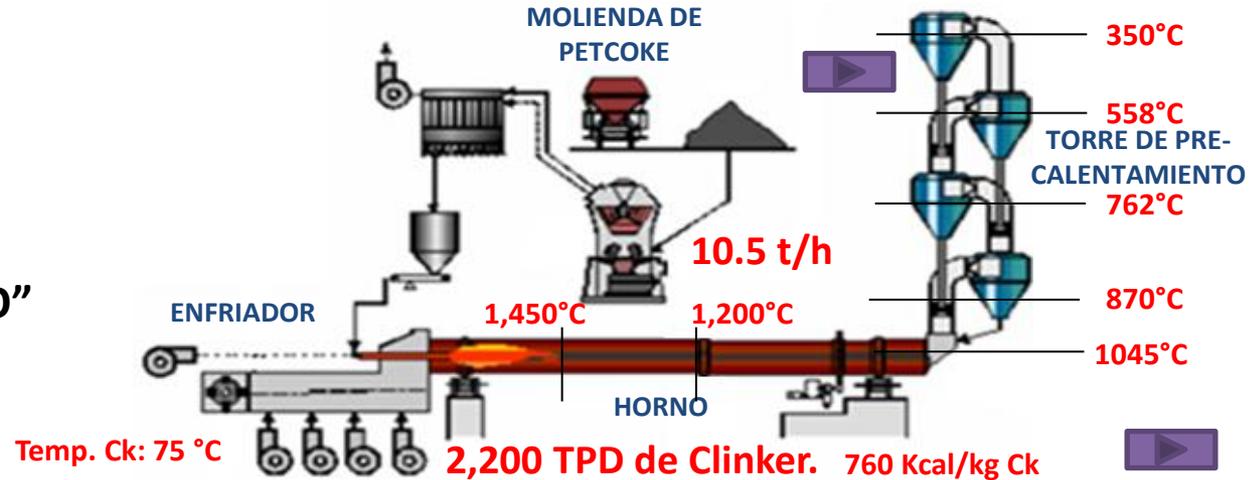
$$1.3 < MA < 2.5$$

MA < 1.3 → Fase líquida comienza demasiado pronto (hacia la entrada de material del horno), La F.L. será fluida.

MA > 2.5 → Fase líquida comienza demasiado tarde (hacia la descarga de material del horno), la F.L. será viscosa.



PRINCIPIO: CALCINACIÓN DE LA HARINA CRUDA "QUÍMICO"



VARIABLES DEL PROCESO

VI CALCINACIÓN

- 9.- Porcentaje de CaO (libre).
- 10.- Porcentaje de C₃S.
- 11.- Porcentaje de C₃A.
- 12.- Tamaño del Clinker.
- 13.- Dureza del Clinker.
- 14.- Temperatura del Clinker.

CONTROL DEL PROCESO

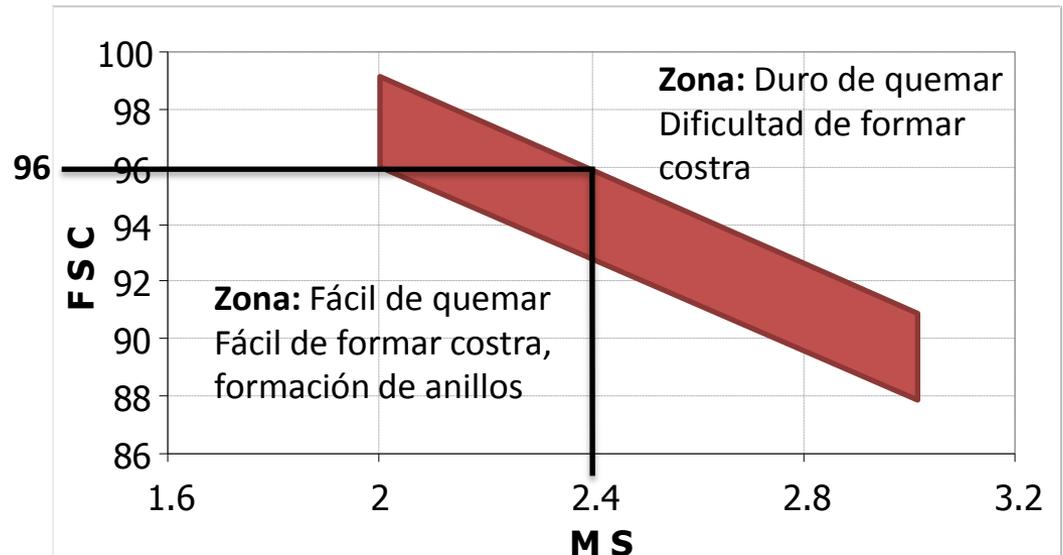


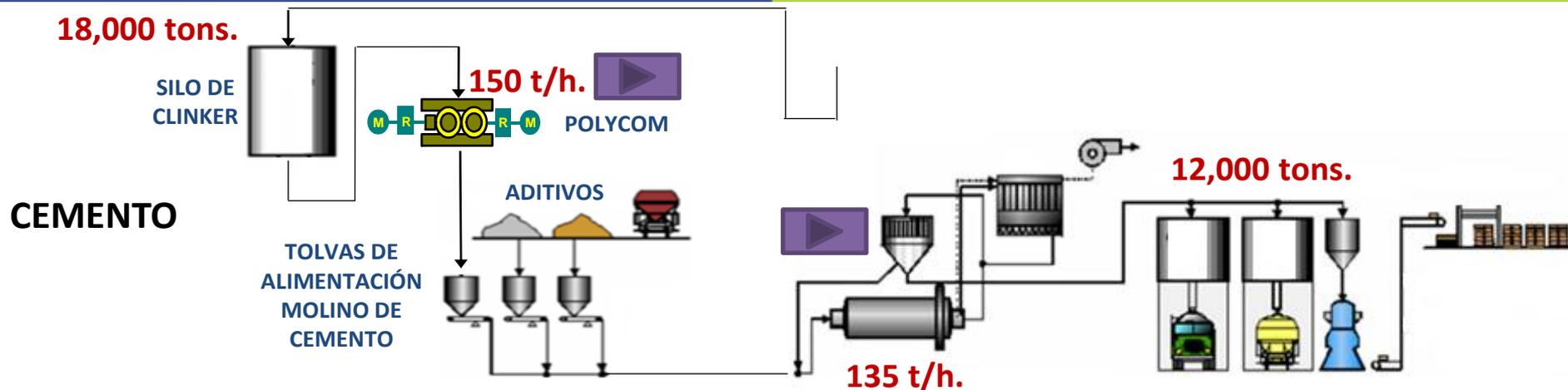
Fig. 14.21 Cement Manufacturer's Handbook, Kurt E. Peray



¿POR QUÉ ENDURECE EL CEMENTO?

El endurecimiento inicial se produce por la hidratación del silicato tricálcico, que forma una sílice gelatinosa e hidróxido de calcio.

Esta sustancia se cristaliza, uniendo las partículas de arena o piedras presentes en las mezclas de cemento.



CONTROL DEL PROCESO

VARIABLES DEL PROCESO

VII TRITURACIÓN DE MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS

- 15.- Tamaño del material.
- 16.- Composición química.
- 17.- Porcentaje de humedad.

VIII MOLIENDA DE CEMENTO

- 18.- Proporción de mezcla.
- 19.- Fineza
- 20.- Temperatura salida de cemento.
- 21.- Resistencia del cemento.
- 22.- Fraguado
- 23.- Expansión.

IX ENVASE

- 24.- Peso de saco.
- 25.- Tiempo de llenado del saco.
- 26.- Caract. de la bolsa del saco.
- 27.- Rotura del saco.

X EMBARQUE

- 28.- Peso de carga.
- 29.- Tiempo de carga.

PARÁMETROS DE CALIDAD

PARÁMETRO	Dimensión o concepto
Proporción de materiales	% de clinker % Yeso % adiciones (Caliza y Puzolana)
BLAINE = cm ² /gr	Cm ² /gr
FINURA en 325 malla ó 45 micras	Malla 325 = 45 micras
Temp. del cemento	100 – 110 °C
Fraguado falso	En %.
Resistencias a la compresión	Mpa (1,3,7 y 28 D).
Expansión a la autoclave	En %.

TIPOS DE CEMENTO

TIPO	DENOMINACIÓN	CLASE RESISTENTE [N/mm ²]	COMPONENTES PRINCIPALES					
			CK + Yeso	Escoria granulada de alto horno	Puzolana	Humo de sílice	Caliza	Minoritarios
CPO	Cemento Portland Ordinario	30	95 - 100	---	---	---	---	0 - 5
CPC	Cemento Portland compuesto	30, 40	50 - 94	6 - 35	6 - 35	1 - 10	6 - 35	0 - 5
CPP	Cemento Portland Puzolánico	30	50 - 94	---	6 - 50	---	---	0 - 5

NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES
R	Resistencia inicial rápida
RS	Resistencia a los Sulfatos
BRA	Baja Reactividad Álcali Agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Blanco

NORMA MEXICANA
NMX-C-414-ONNCCE-2010
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN
CEMENTANTES HIDRÁULICOS
ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO

TIPOS DE CEMENTO

CEMENTO DE ALBAÑILERIA (MORTERO)

Determinación	Unidad	Condición	Especificación
R 7 días	N/mm ²	mínimo	4.4
R 28 días	N/mm ²	mínimo	7.8
Contenido de aire	%	máximo	22
Retención de agua	%	mínimo	60

NORMA MEXICANA, NMX-C-021-ONNCCE-2004

USOS DE LOS CEMENTOS

CEMENTO	USOS MAS COMUNES
<p>Cemento Portland Ordinario (CPO)</p>	<p>Para obras de concreto armado de endurecimiento mas rápido de lo normal, concreto pretensado, ejemplos: zapatas, columnas, trabes, castillos, dalas, muros, losas, pisos, pavimentos, banquetas, muebles municipales (banacas, mesas, fuentes, escaleras), etc. Ideal en la elaboración de productos prefabricados (tabicones, adoquines, bloques, postes de luz, lavaderos y piletas, etc.</p>
<p>Cemento Portland compuesto (CPC)</p> <p>Cemento Portland Puzolánico (CPP)</p>	<p>Obras de concreto en masa y armado. Pavimentaciones y cimentaciones. Morteros en general. Prefabricación con tratamientos higrotérmicos. Concretos mas susceptibles a ataques por aguas puras, carbónicas agresivas o con débil acidez. Aplicaciones en presas, cimentaciones masivas, muros de contención etc. Obras en las que se requiera impermeabilidad, a condición de que la dosificación sea la adecuada. Obras de concreto sospechosos de reactividad frente a álcalis.</p> <p>Otros ejemplos: Los del cemento (CPO) y además en prefabricados para alcantarillados como: brocales para pozos de visita, coladeras pluviales, registros y tuberías para drenaje</p>
<p>Cemento de albañilería (Mortero)</p>	<p>Normalmente se utiliza para acabados, zarpeados y para recubrir el ladrillo rojo horneado. Este tipo de cemento no debe usarse en concreto estructural.</p>



Equipo para finura Malla 325



Picnómetro de Helio



Equipo de Blaine manual



**Granulómetro Láser
(Mastersizer 2000, Malvern)**



Equipo de Blaine automático

Resistencias a la Compresión Mortero



Homogeneizador para cemento



Batidora Hobart



**Equipo de para
determinar la fluidez**



**Calorímetro Isotérmico
Determinación de la curva
de hidratación del cemento**



**Molde para cubos de mortero
Probar resistencias a la compresión**



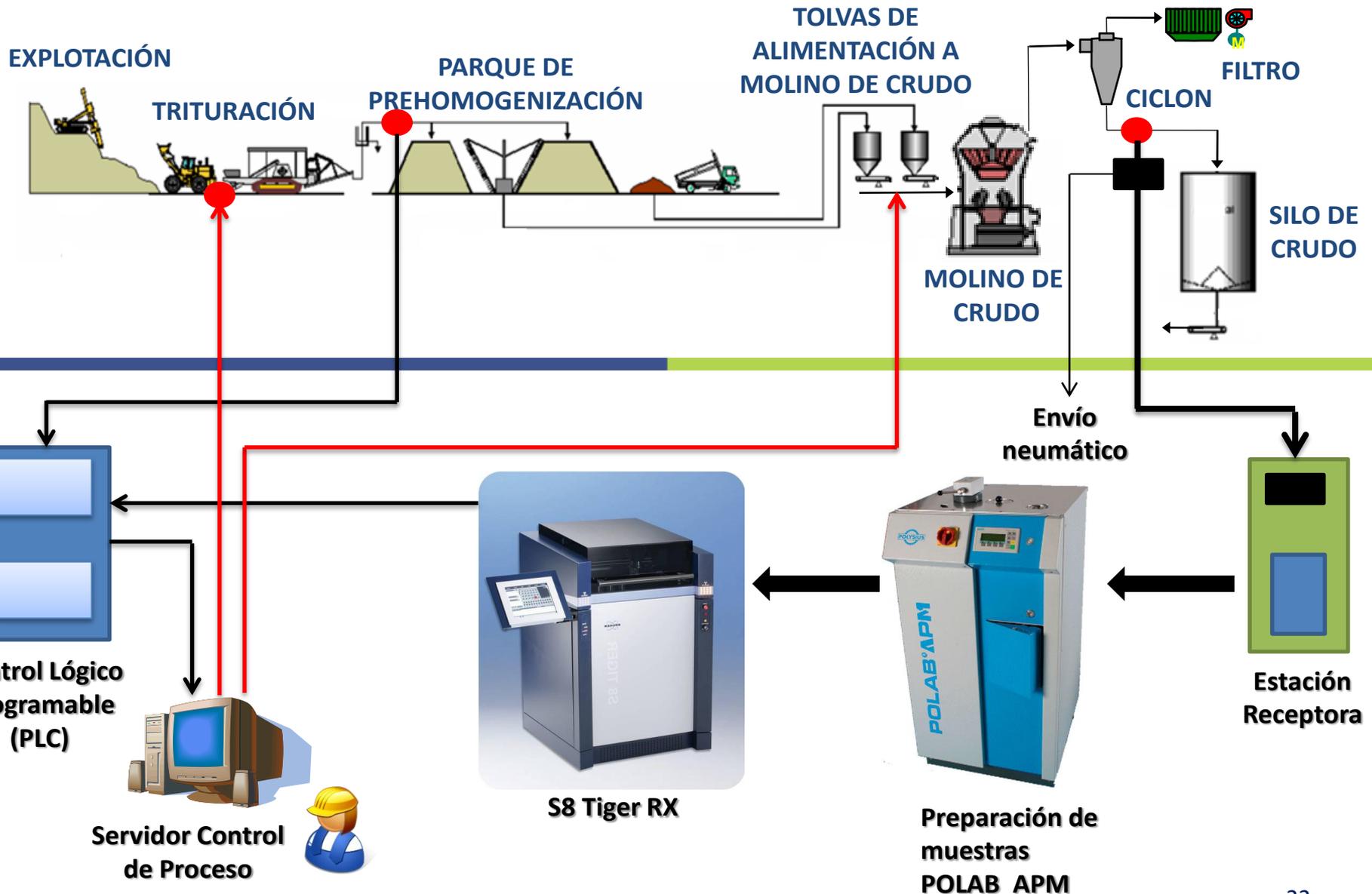
**Aparato de Vicat,
determinación de tiempos
de fraguado**



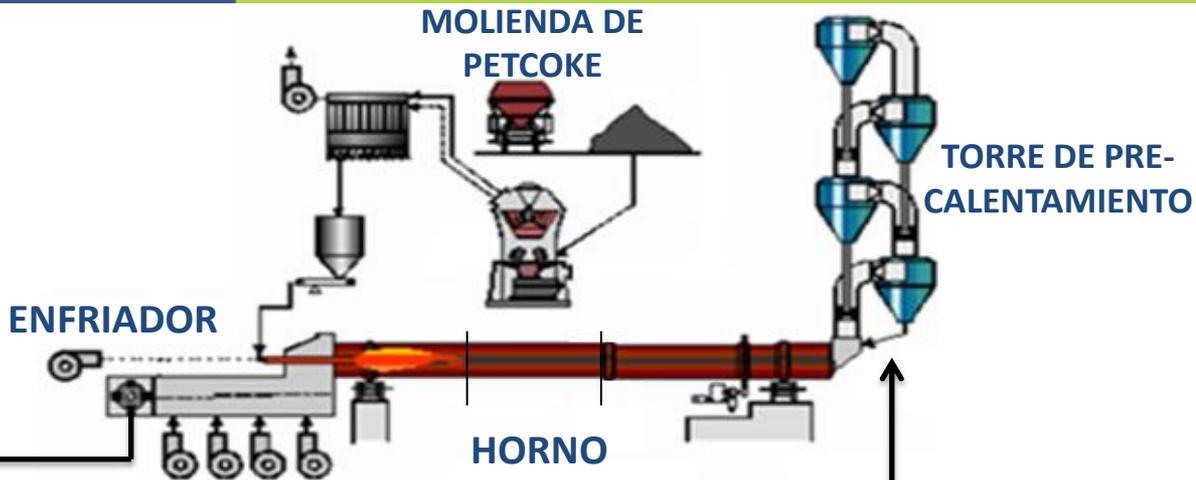
Equipo de medición de la longitud de las barras de expansión en autoclave



Autoclave



CLINKER



Preparación de muestras
POLAB APM



S8 Tiger RX

Análisis químico
del cemento

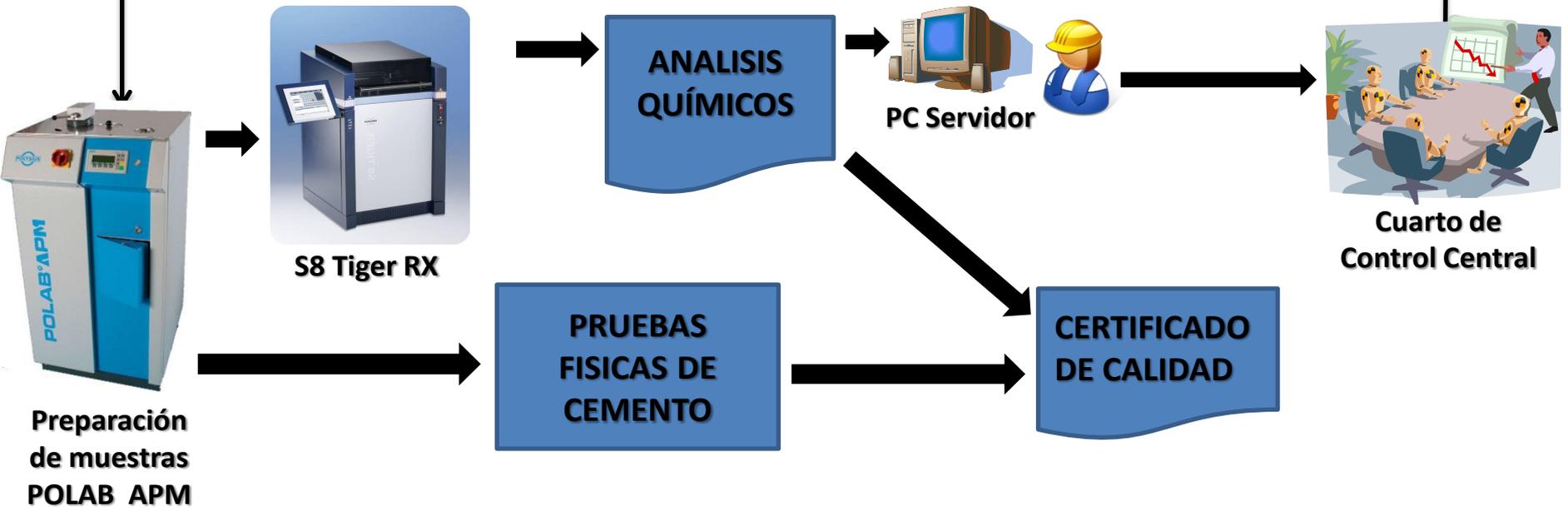
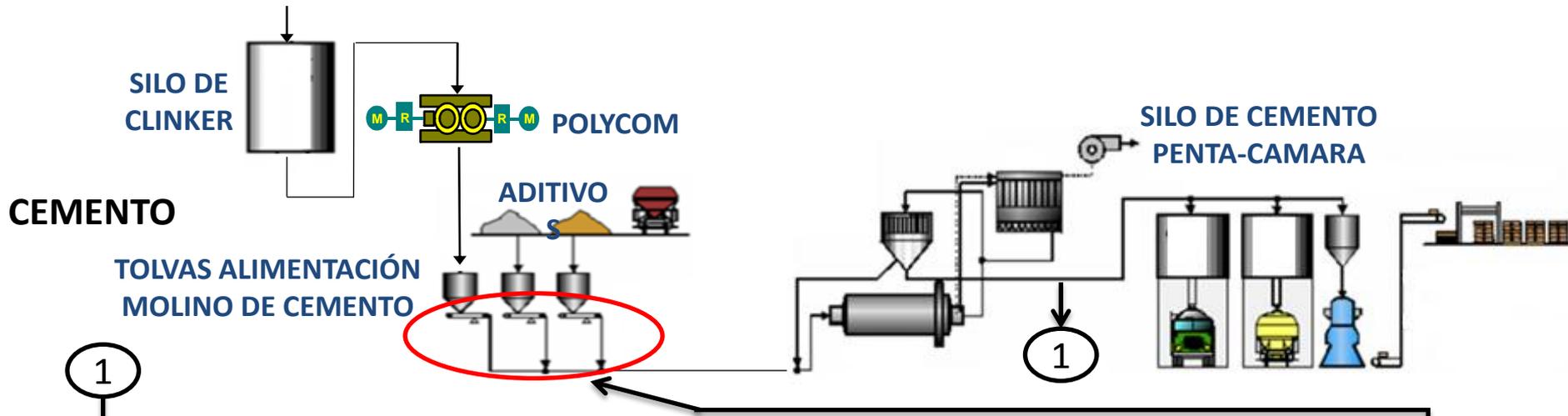


Servidor Control
de Proceso

Cambios para el
control de la
operación



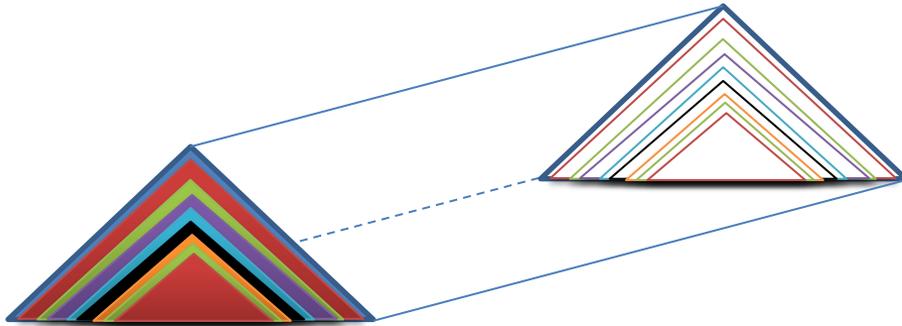
Cuarto de
Control Central



GRACIAS



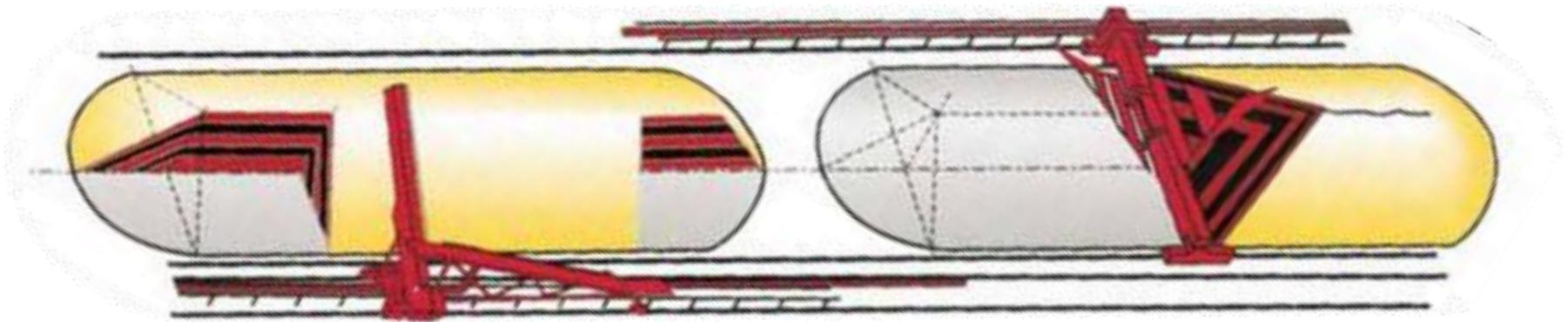
METODO DE APILAMIENTO: CHEVRON

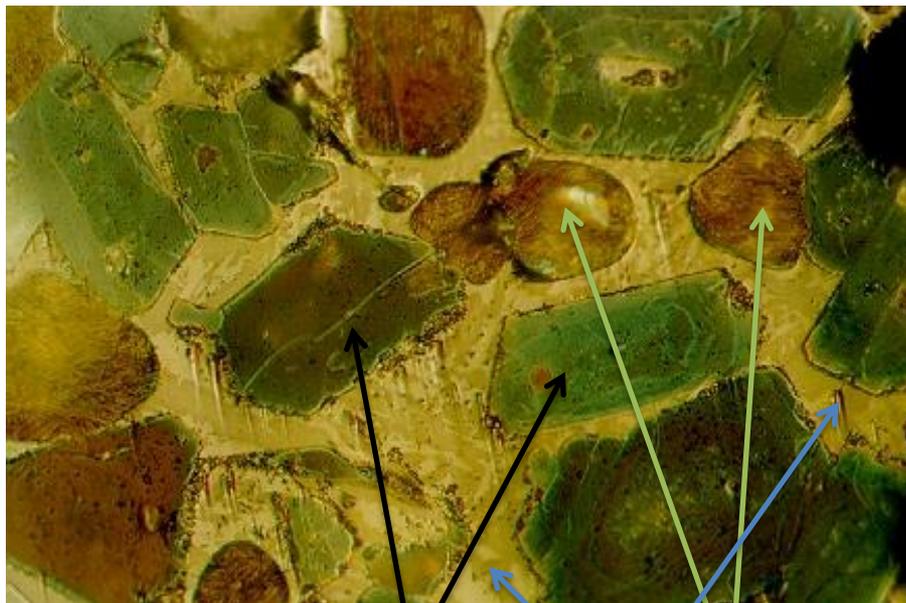


APILADOR LONGITUDINAL

Materiales para prehomogeneizar: 75% Caliza y 25% Lutita

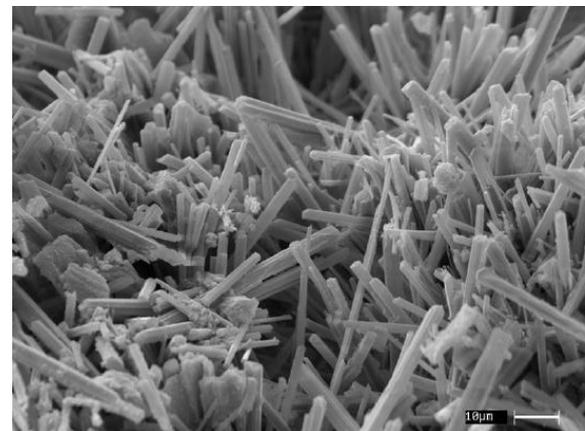
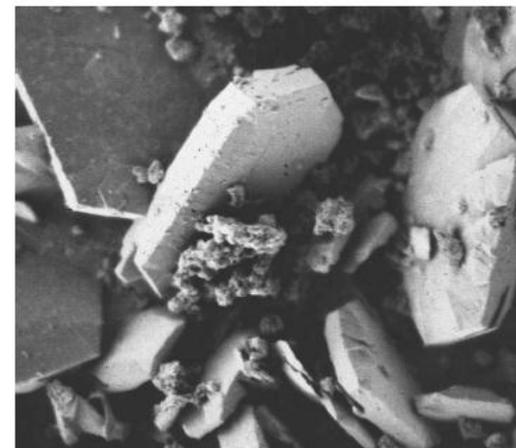
Se tiene un GEOSCAN (análisis de Rayos Gamma en línea sobre la banda de esta mezcla.





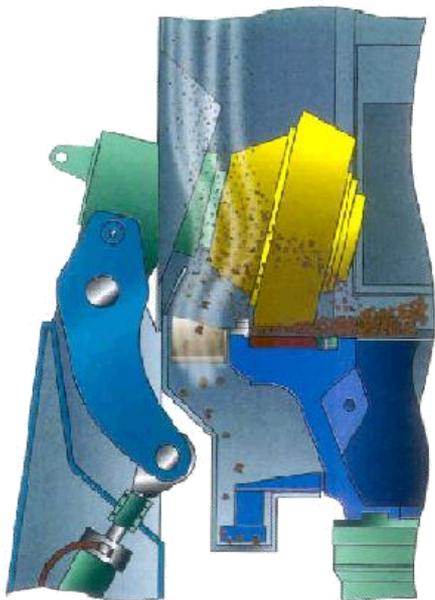
Cristales de Alita(verde), Cristales de Belita (Café), matriz de C3A y C4AF (amarillento)

Ca(OH)₂

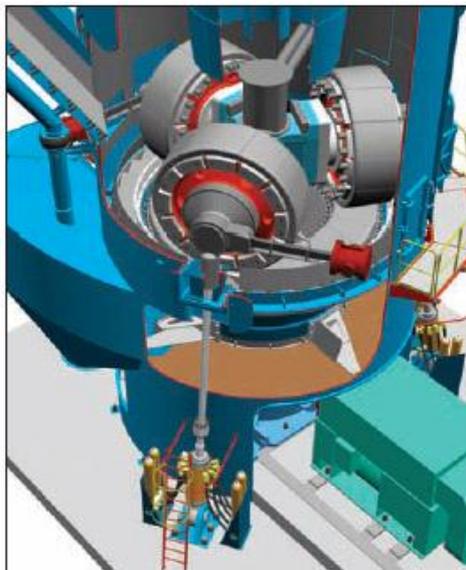


Etringita (Hidratación del C3A)



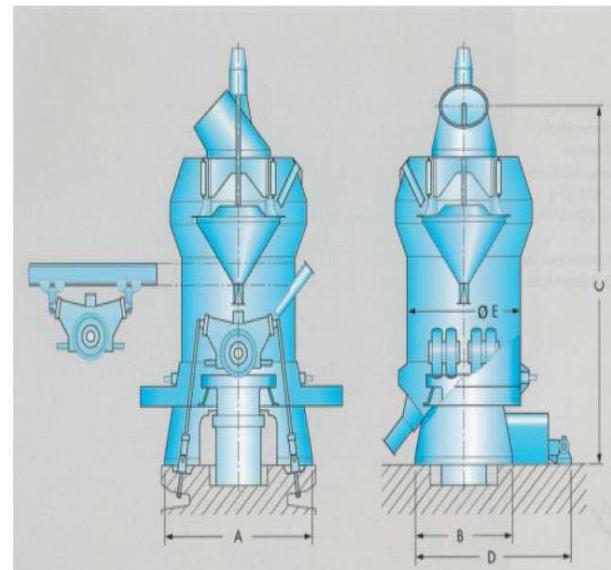


Loesche



The three cylindrical rollers are rigidly connected to a common centerpiece.

FLSmith rodillos Atox



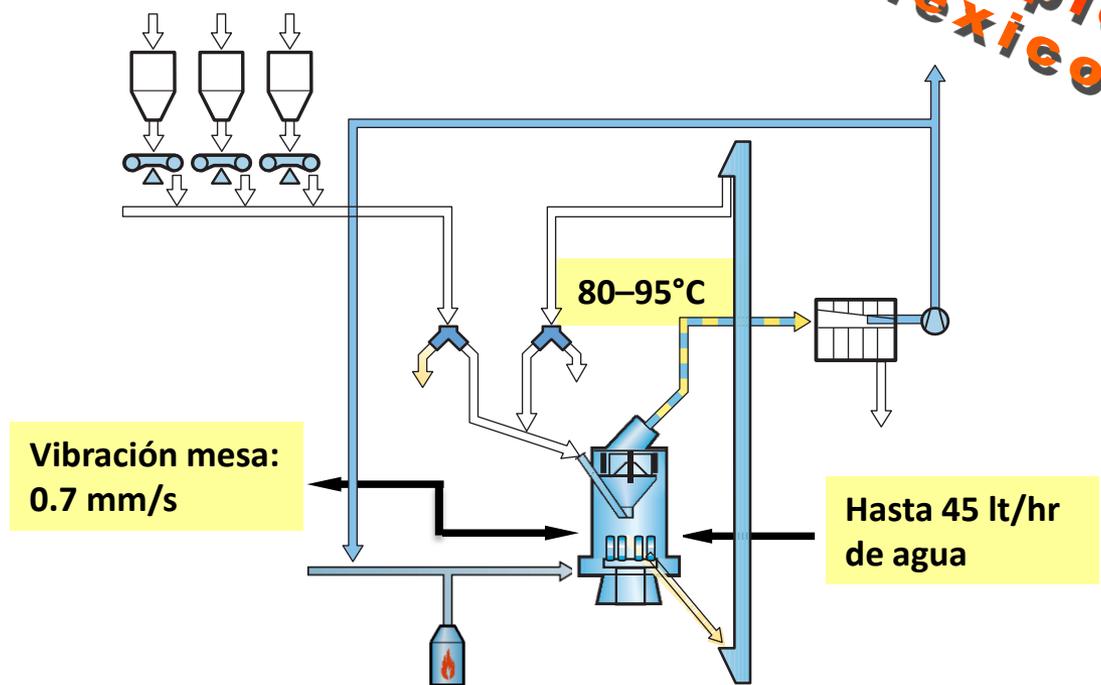
Polysius

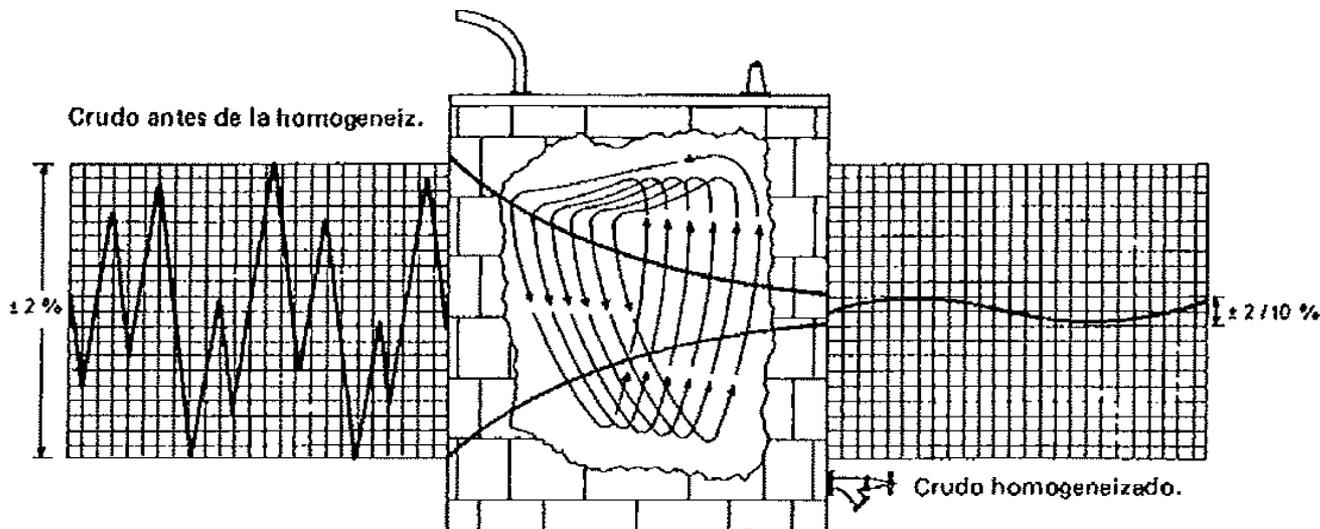


Principio

Es necesario mantener la **cama de material en la mesa**, para la **eficiencia de molienda** y **evitar vibración**.

**Ejemplo:
México**



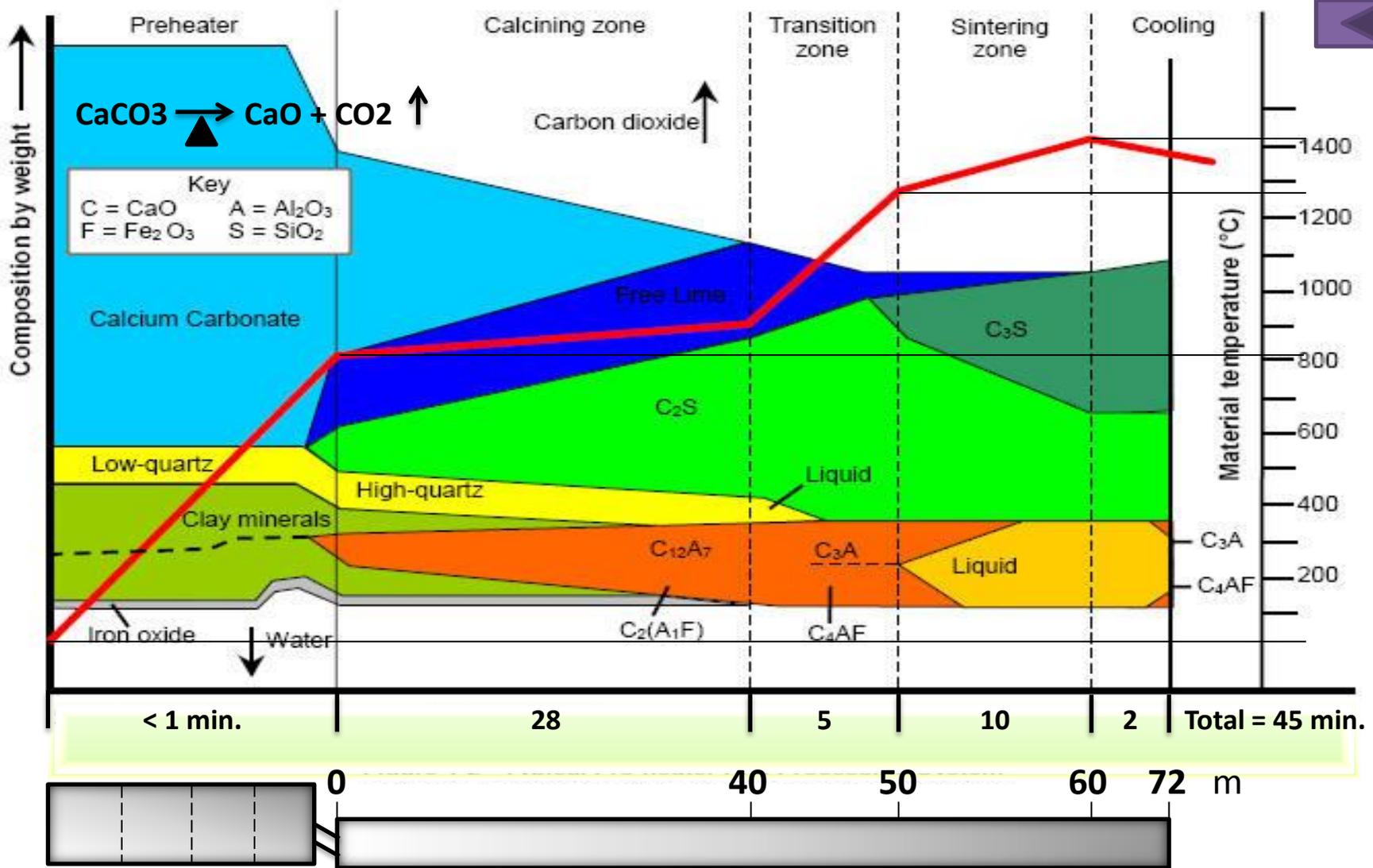


PARÁMETROS PARA LA HOMOGENEIZACIÓN

- a) Aire necesario aprox. para Homogeneización: 15 – 20 m³ aire/ton
- b) Presión de aire de mezcla: 2.0 – 2.2 kg/cm²

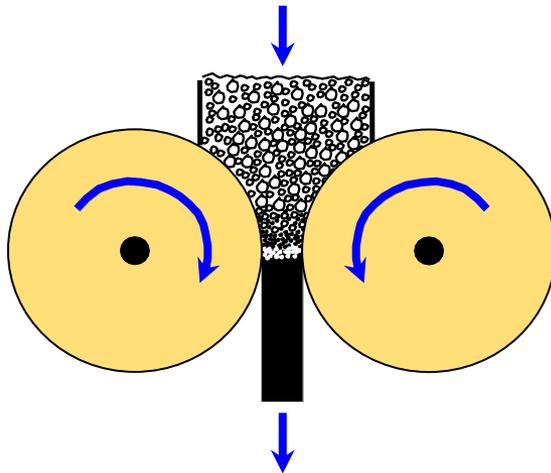
PRINCIPIO

Disminuir las variaciones químicas de la harina cruda producidas por el molino y preparar el material para alimentar al horno.



COMPUESTOS DE BOGUE (CLINKER)

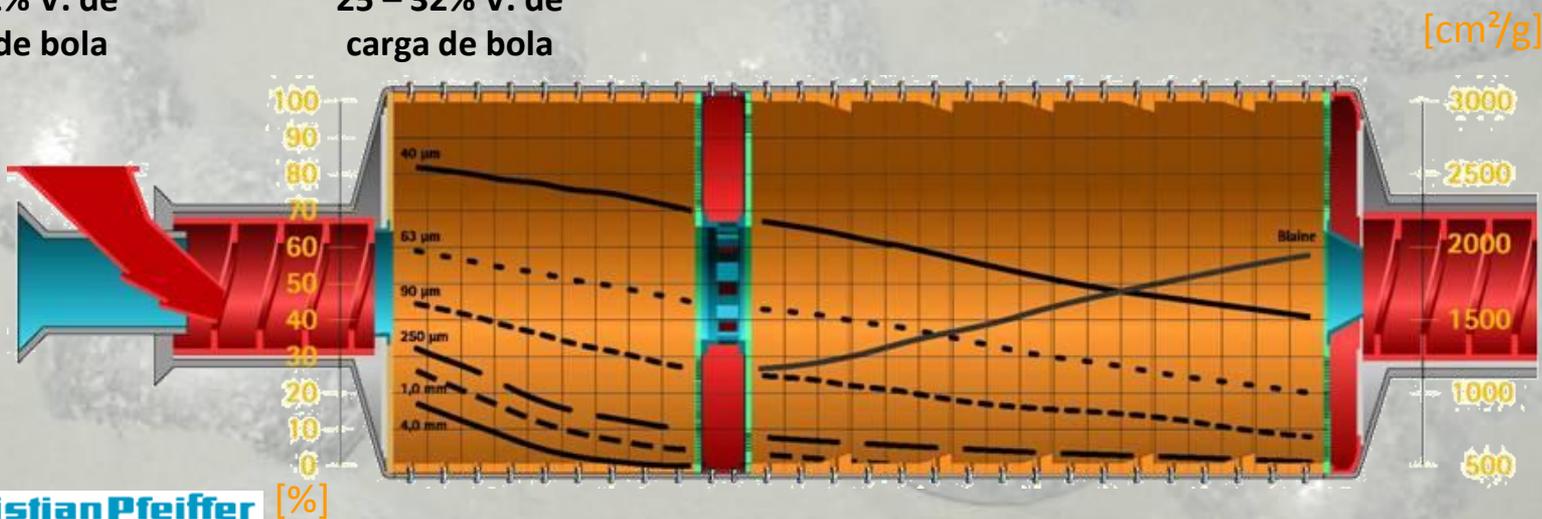
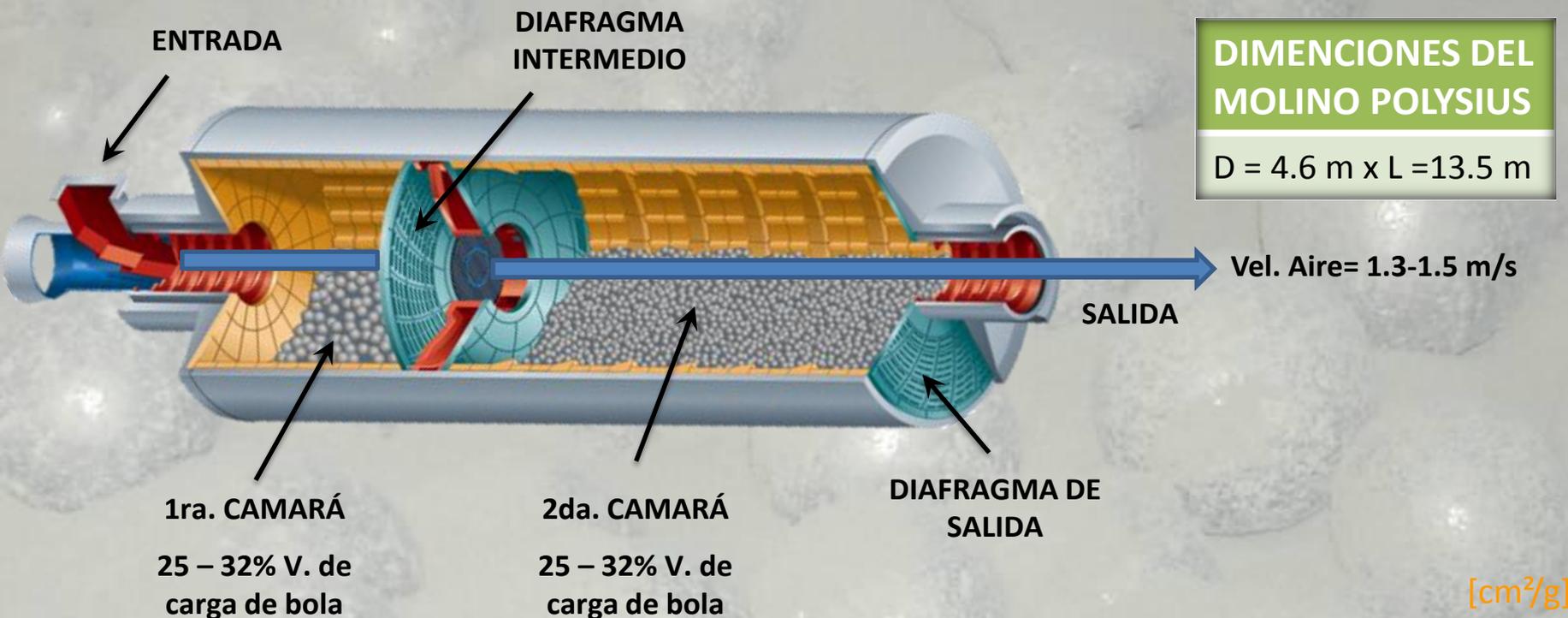
COMPUESTO	FORMULA QUIMICA	FORMULA CONCENSADA	NOMBRE MINERALOGICO	EFFECTO EN EL CEMENTO
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S (55-65%)	Alita	Resistencias iniciales. (1 y 3D)
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S (15-25%)	Belita	Resistencias largas. (14 y 28D)
Aluminato tricálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A (7-10%)	Celita	Calor de hidratación
Ferro Aluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF (7-10%)	Ferroaluminato	Mínimo efecto



POLYCOM (Roller-Press Mill)

TRITURADORA DE ALTA PRESIÓN

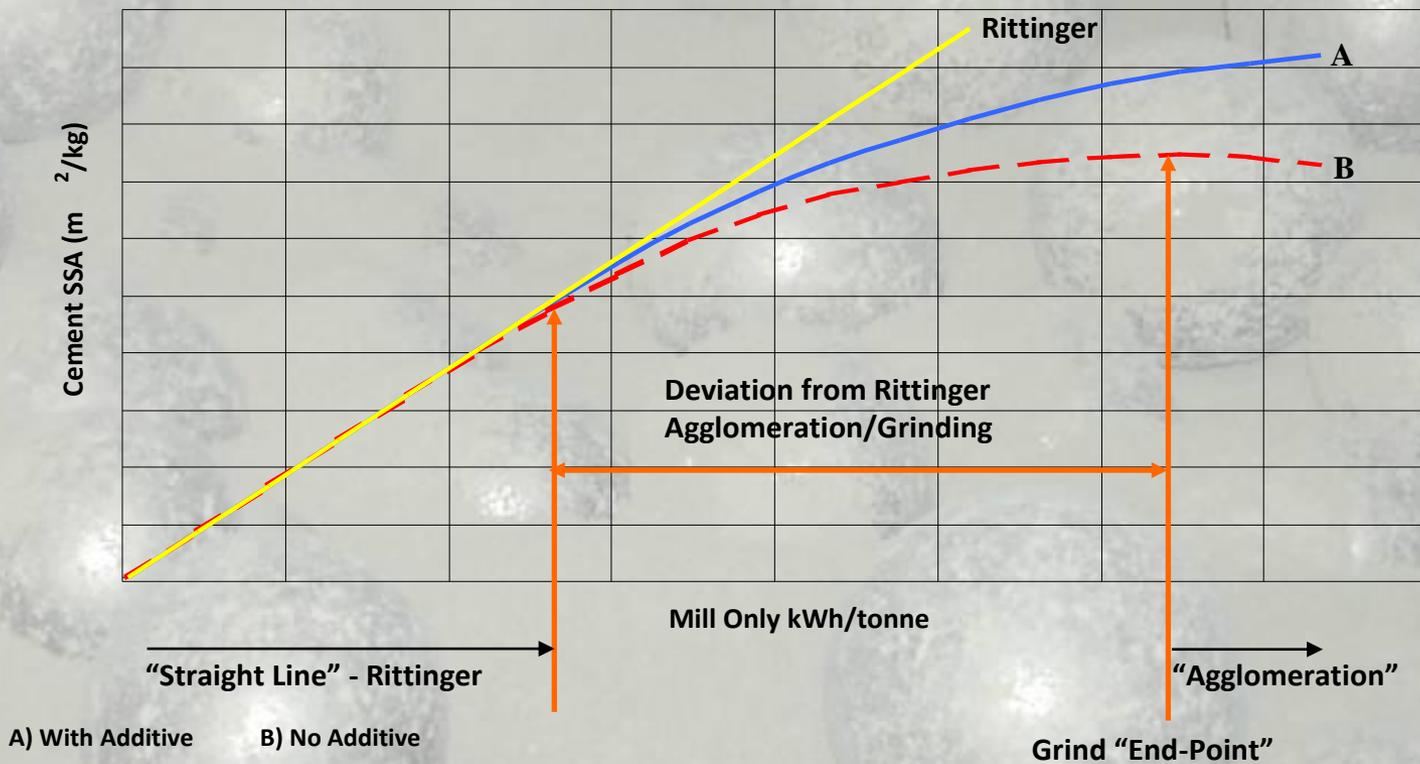
- 1 Material presionado de 10 a 20 mm.
- 2 Rodillos que giran en sentido contrario.
- 3 El producto es una torta compacta con alta proporción de finura.
- 4 La trituradora de alta presión usa del 50 al 65% de la energía del molino.



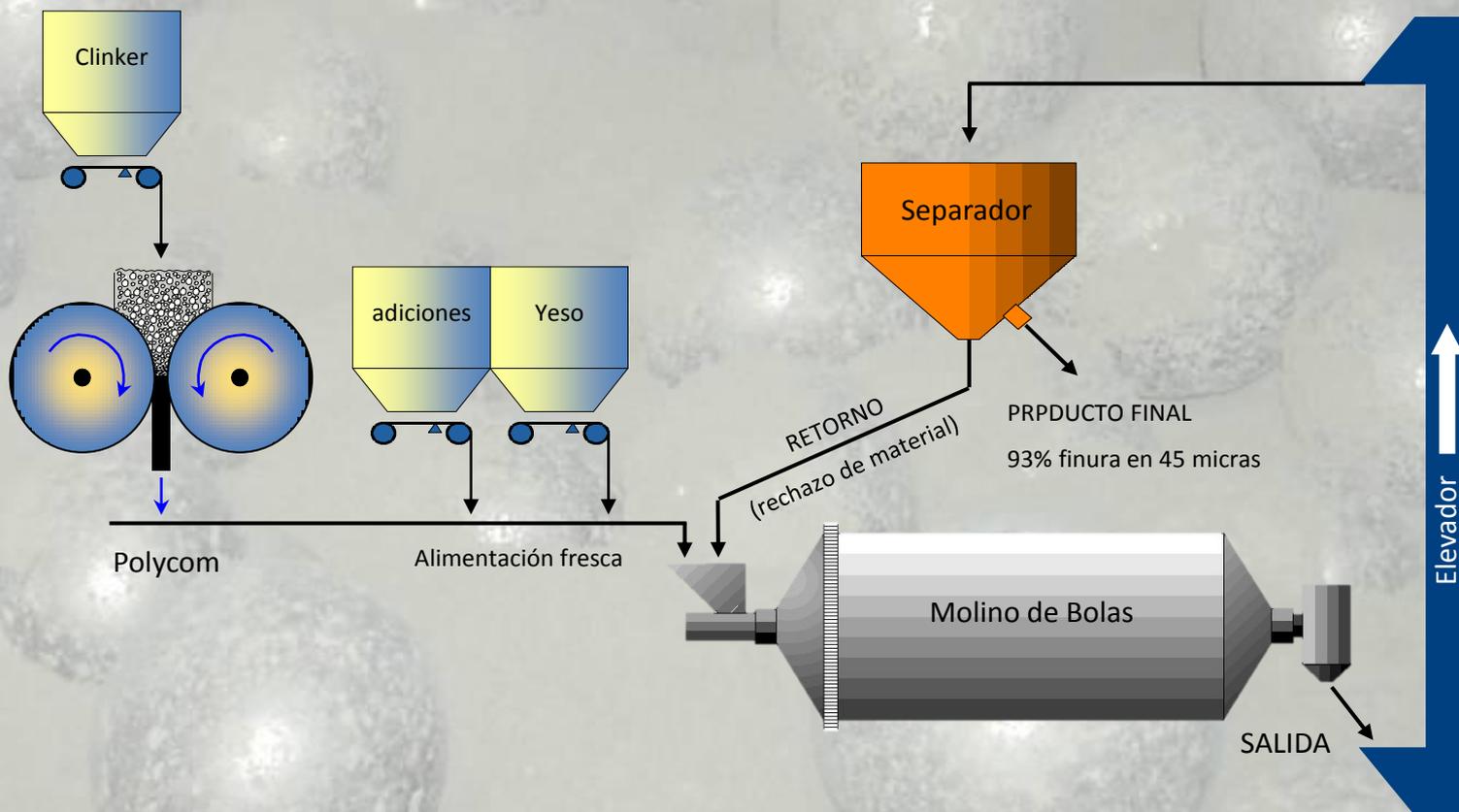
PROCESO DE MOLIENDA

Grindability Curves - Rittinger

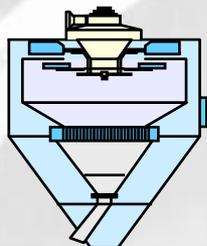
Lab-Trials



PROCESO DE MOLIENDA



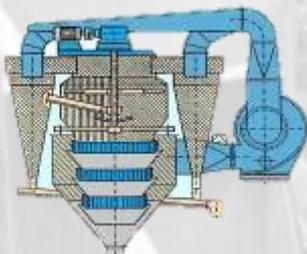
SISTEMAS DE SEPARACIÓN



Dinámico (Sturtevant)

1^{ra.} generación

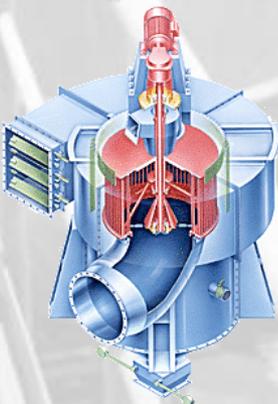
%By Pass : 30 – 60



Cyclopol (Polysius)

2^{da.} generación

%By Pass : 20 – 40



SEPOL® (Polysius)

3^{ra.} generación

%By Pass : < 10

PARTICULA EN EL SEPARADOR

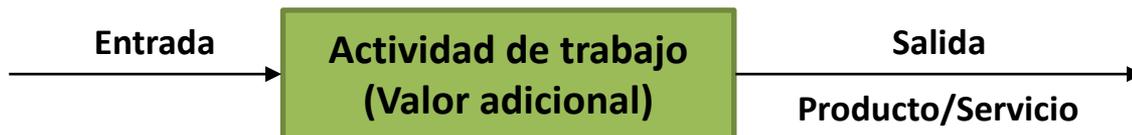
Fuerza del aire



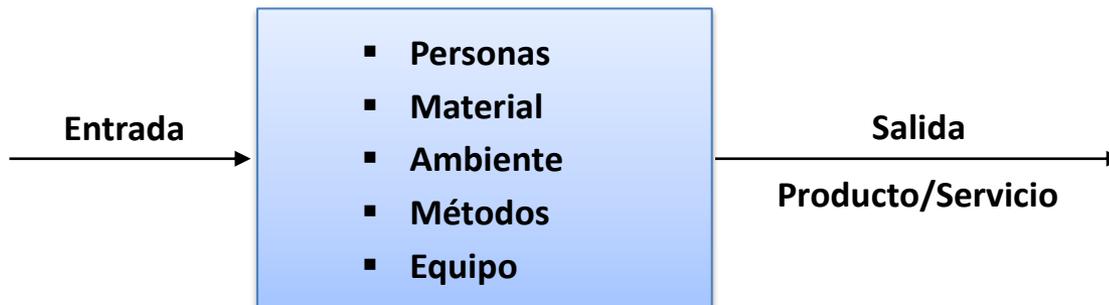
Fuerza
centrifuga

Fuerza de gravedad

UN PROCESO CONSISTE DE....



COMPONENTES DEL PROCESO



UN PROCESO PUEDE SER:

Simple:	Complejo
• Tomar una foto.	• Revelar un rollo fotográfico
• Cerrar una llave de agua.	• Construir una presa.
• Hacer el balance de una chequera.	• Hacer el balance del presupuesto federal.



VISUALIZACIÓN DEL TRABAJO COMO UN PROCESO

- El trabajo se realiza mediante procesos.
- Todos los procesos transforman las entradas en productos ó servicios.
- Los procesos pequeños se combinan para dar lugar a los mayores.
- Los procesos pueden estar relacionados o interdependientes.

EJERCICIO 1, 10 minutos

- 1) Hacer equipos de trabajo.
- 2) Seleccionar un proceso real.
- 3) Identifique el cliente y proveedor.
- 4) Defina los requerimientos o necesidades de sus clientes.
- 5) Valore cada necesidad de su cliente. (Como se medirá).
- 6) Cada equipo escojan una persona que presente al grupo sus conclusiones.