

# **Control de pérdidas de materia prima en el proceso productivo de una cantera**

**Fredy Huayta**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, fhuayta@pucp.edu.pe

**Wilmer Atoche Díaz**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, watoche@pucp.edu.pe

## **RESUMEN**

El presente artículo muestra el proceso productivo de una cantera, se identifica la fuente de mermas, se determina indicadores de control y se simulan las pérdidas del proceso usando herramientas computacionales.

Se realiza el balance de materia, se identifica las fuentes de mermas, se construye los indicadores y se usa un modelo de simulación del proceso productivo de la cantera, con la finalidad de optimizar el proceso de obtención de los materiales de construcción a partir de los datos experimentales obtenidos de una planta de procesamiento ubicado al oeste de la ciudad de Lima.

Los materiales de construcción son fundamentales para el desarrollo de cualquier sociedad y estos recursos no son fácilmente localizables, su disponibilidad son restringidas básicamente por problemas técnicos, por que los materiales de construcción de buena calidad se encuentran en yacimientos inaccesibles y por la presión creciente sobre la competencia del uso de los suelos, esto hace que la extracción de los materiales de construcción sea restringido o en algunos casos prohibidos. Para asegurar la disponibilidad de nuestras futuras necesidades de construcción y edificación es esencial identificar los recursos potenciales de materiales de construcción.

El objetivo principal es modelar las mermas generadas, en las operaciones unitarias de la planta, utilizando un software.

**Palabras claves:** Cantera, mermas, simulación

## **ABSTRACT**

This article shows the production process of a quarry, identifies the source of shortages, identifies indicators of control and simulate the loss for the process using computational tools.

It makes the material balance, identifies the sources of shrinkage, the indicators are constructed and used a simulation model of the production process of the quarry, in order to optimize the process of obtaining building materials from the experimental data from a processing plant located west of the city of Lima.

Building materials are critical to the development of any society and these resources are not easily found, their availability is restricted mainly by technical problems, the construction materials of good quality are found in inaccessible sites and the increasing pressure on jurisdiction of land use, this makes the extraction of construction materials is restricted or prohibited in some cases. To ensure availability of our future needs of building and construction is essential to identify potential sources of construction materials.

The main objectives are to model the losses generated, unit operations of the plant, using software.

**Keywords:** Quarry, shrinkage, simulation

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los materiales de construcción son fundamentales para el desarrollo de cualquier sociedad y por lo tanto constituyen materias primas esenciales para la construcción de viviendas, carreteras, puentes, fabricas aeropuertos

y otros. Las construcciones modernas requieren grandes cantidades de arena, grava y cemento. (Mather et al., 2000)

Estos recursos no son fácilmente localizables, su disponibilidad, es restringida, básicamente por problemas técnicos, por que los materiales de construcción de buena calidad se encuentran en yacimientos inaccesibles y por la presión creciente sobre la competencia del uso de los suelos, esto hace que la extracción de los materiales de construcción sea restringido o en algunos casos prohibidos. Para asegurar la disponibilidad de nuestras futuras necesidades de construcción y edificación, es esencial identificar los recursos potenciales de los materiales de construcción. (Langer and Glanzman, 1993)

Con la finalidad de optimizar el proceso de obtención de los materiales de construcción, a partir de los datos experimentales obtenidos, de una planta de procesamiento ubicado al oeste de la ciudad de Lima, se modelara las pérdidas generadas en las operaciones unitarias.

## 2. PROCESO Y OPERACIÓN EN LA CANTERA

El proceso productivo se inicia con la alimentación de la materia prima al proceso de chancado (chancadora primaria). La materia prima es extraída de la cantera, esta operación, se ejecuta utilizando un cargador frontal y/o camiones. El producto que se obtiene, de la chancadora, son piedras menores a cuatro pulgadas (aproximadamente 10 cm), confitillo, arena y limo todo el material es enviado a través de la faja transportadora al stock pile de material pasante (almacén temporal).

A seguir el material que se encuentra en el almacén temporal es transportada, a través de una faja, hacia al proceso de chancado y zarandeo (chancadora secundaria). Esta chancadora costa de tres platos, del cual se obtiene los siguientes productos: el confitillo, la piedra chancada y la mezcla de arena con limo, esta mezcla (arena y limo) es enviado mediante la faja transportadora a stock pile de finos.

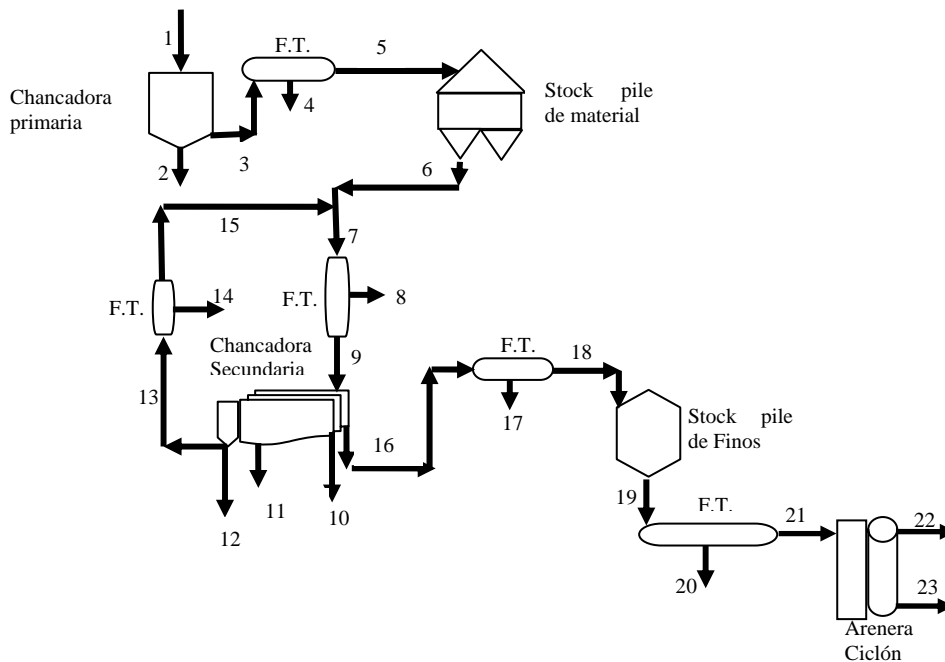


Figure 1: Diagrama de flujo de la cantera

Las piedras que no logran pasar el proceso de zarandeo es recirculado al proceso (como se muestra en la figura1).

El producto obtenido, del proceso de tamizado y chancado, es clasificado por el número de malla que se encuentra en la zaranda del cual se obtiene la piedra (N°56), Confitillo (Piedra N°04) y el subproducto compuesta por una mezcla de arena con limo, este subproducto, es enviado mediante la faja transportadora al stock pile de finos.

Del stock pile de finos la mezcla, de arena y limo, es enviada mediante fajas transportadoras al proceso de arenado. El ciclón (arenado) es graduable y permite separar el limo de la arena, los productos obtenidos son el limo y arena con porcentaje mínimo de limo.

En el diagrama de flujo de la cantera (figura1) se indica las operaciones unitarias, las líneas de entrada y salida de cada uno de los procesos, a su vez se presenta en la tabla 1 donde se muestran los flujos de la alimentación, la merma y el producto obtenido en cada una de las líneas de salida.

**Tabla 1: Flujos de alimentación, mermas y producto final**

Flujo	Alimentación	Merma	Producto
1	Materia prima ala chancadora primaria		
2	Piedra, arena y limo al stock pile		
3 y 5			
10			Piedra N°56
11			Piedra N°04
4,8,12,14,17 y 20		Limo (faja transportadora)	
13y15	Recicló de piedra a la chancadora secundaria		
16 y 18	Arena y limo al stock pile de finos		
19 y 21	Arena y limo al proceso de arenado		
22		limo	
23			Arena

Los productos finales obtenidos en la cantera son: Piedra chancada (N°56), confitillo (N°04) y Arena gruesa.

### 3. MÉTODO Y DATOS OBTENIDOS

Los datos obtenidos consisten en la identificación de las pérdidas físicas de materiales a lo largo de las operaciones unitarias.

Se realizaron 10 medidas para el proceso completo, cada una de las mediciones tuvo una duración de 8 horas, estas mediciones fueron realizadas en los tres turnos de trabajo aleatoriamente.

Para cuantificar la masa de la materia prima se considero que la densidad (del material de alimentación) se mantiene constante e igual a  $1500 \text{ kg/m}^3$ , la masa de la materia prima se determino multiplicando por el número de camiones ( $\text{m}^3$ ) y/o paladas ( $\text{m}^3$ ).

La merma (flujos 2, 4, 8, 12, 14, 17, 20 y 22) producida en el proceso es acumulado en cada flujo, después de 8 horas, es pesada en una balanza con una precisión de más menos un kilogramo.

Por balance de masa, asumiendo régimen permanente, se determinan todo los flujos del proceso excepto el flujo de las mermas y el de la alimentación, que son datos obtenidos en la planta, el primero por mediciones realizadas (20 mediciones en cada punto) y segundo proporcionados por la empresa.

Cabe destacar también que se asumió que la composición de la materia prima está compuesta por 77% de piedra, 20% de arena y 3% de limo. (López, 1998)

En la tabla 2 se muestran el peso promedio de las 10 medidas obtenidas experimentalmente, también, se presentan el peso máximo y mínimo obtenido en cada una de las líneas del proceso.

**Tabla 2: Valores promedios obtenidos**

<b>Flujo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
F1(alimentación)	986550	2199000	364500
F2(merma)	553.09087	1267.3074	237.337
F3	985996.91	2197732.7	364262.66
F4(merma)	266.75	628.2	102.3
F5	985730.16	2197104.5	364132.66
F6	985730.16	2197104.5	364132.66
F7	1205527.7	2702438.5	436959.2
F8(merma)	256.45	513.1	101.2
F9	1205322.5	2702438.5	436839.8
F10(piedra- N° 56)	593193.96	1354446.9	213284.6
F11(piedra- N° 04)	153047.86	309829.72	61740.279
F12(merma)	65.85	106.5	34.3
F13	220085.61	505987.03	72936.633
F14(merma)	288.105	653	89.35
F15	219797.51	505334.03	72826.533
F16	238877.94	531627.48	88807.286
F17(merma)	306.68	627.2	138.6
F18	238571.26	531000.28	88668.686
F19	238571.26	531000.28	88668.686
F20(merma)	401.96	844.1	187.5
F21	238169.3	530156.18	88481.186
F22(merma)	27554.86	61661.9	9982.9
F23(producto)	210085.17	456642.87	78498.286

## **4. MODELO PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS OBTENIDOS**

### **4.1 PROCEDIMIENTO**

El procedimiento consistió en pesar las cargas de material obtenidas en los diferentes turnos de trabajo, las mediciones se realizaron. Los resultados obtenidos son para una jornada de trabajo de 8 horas.

El peso de la materia prima en el punto de entrada 1 (Flujo1) fue determinado contando el número de camiones y paladas que se cargaron al proceso de chancado primario. Antes de iniciar el proceso se estandarizo el peso del camión y de la palada.

La carga de las mermas se peso en forma individual en los puntos 2, 4, 12, 14, 17, 20 y 22. Las salidas y entradas de los otros puntos del proceso de calcularon por balance de masa.

A partir de los datos de promedios, máximo y mínimo obtenidos en cada uno de los flujos tanto de alimentación, merma y producto final. Se procederá a modelar las mermas en cada uno de los puntos del proceso.

Se usa el INPUT ANALIZER para obtener una distribución triangular de parámetros **a= valor mínimo, b=valor promedio, c=valor máximo** para las variables de tiempo, en todo los puntos que se tienen mermas.

La entrada de materia prima en el Block CREATE, se define la unidad de llegada como una tonelada y el tiempo entre llegadas se distribuye de acuerdo a una normal de media 0.4865 minutos y desviación estándar de 0,312 minutos. Los otros procesos también son definidos normalmente.

## 4.2 RESULTADOS

La simulación del proceso se efectuó con el simulador en ARENA 12, se define una entidad como una tonelada y los tiempos que toma procesar. En la Tabla 3 se muestran los resultados simulados en los puntos de flujo; se puede notar que existe cierta relación de concordancia en la mayoría de puntos. Si tomamos como referencia el error absoluto es importante señalar que es bajo teniendo en cuenta el volumen (1000 toneladas aproximadamente) que procesa la cantera.

**Tabla 3: Valores promedios medidos y obtenidos por simulación**

Flujo	Valor medio (Tn)	Valor Simulado (Tn)	Error (Tn)
1	986.550	967.2	19.3
2	0.554	0.6	0.0
3	985.996	966.6	19.4
4	0.3	0.7	-0.4
5	985.730	965.9	19.8
6	985.730	965.0	20.7
7	1205.953	1188.7	17.3
8	0.6	0.8	-0.2
9	1205.322	1187.9	17.4
10	593.194	588.7	4.5
11	153.047	137.1	15.9
12	0.065	0.1	-0.1
13	220.085	223.7	-3.6
14	0.288	0.4	-0.1
15	219.797	223.3	-3.5
16	238.877	238.2	0.7
17	0.306	0.4	-0.1
18	238.571	237.8	0.8
19	238.571	237.8	0.8
20	0.402	0.3	0.1
21	238.169	237.5	0.7
22	27.554	22.2	5.4
23	210.085	215.3	-5.2

## 5. CONCLUSIONES

La simulación permite determinar el lote de carga en cada proceso, con el fin de obtener la cantidad necesaria para hacer el pedido.

La simulación de las mermas permite predecir la cantidad de mermas que se generan en un periodo determinado y poder programar los recursos necesarios (camiones) para desechar dichas mermas.

Las mermas como el limo, son producto terminado y materia prima para las empresas agrícolas, estas las envasan y la usan como tierra fértil. Se puede proyectar la cantidad de limo que se puede vender.

Los errores cometidos en la simulación son pequeños en todos los puntos que se obtienen un producto final o un producto que se usa como entrada en la siguiente operación.

Los errores cometidos en toneladas en las mermas son pequeños, pero sin embargo los errores porcentuales son altos, debido a que las mermas son mínimas comparadas con los volúmenes procesados.

Las mermas se calculan y simulan dependiendo del tipo de cantera que se analiza.

El proceso también se puede simular usando otro tipo de programas de simulación.

## REFERENCIAS

- Dunn, J.R. (1991). Geology and Exploitation, in Barksdale, R.D., Ed., The Aggregate Handbook: Chapter 4. Washington, D.C. National Stone Association, pp. 4,2-4,45.
- Langer, W. E. and Glanzman, V.M. (1993). Natural Aggregate-Builden America's future, *U.S. Geological Survey, Circular*, pp. 1110-1139.
- Mather, S. J., Harrison, D.J. and Evans, E. J. (2000). Exploration, evaluation & testing of volcanic raw material for use in construction, British Geological Survey, pp 116-125.
- López Jimeno, C. (1998). *Manual de prospección, explotación y aplicaciones*, LOEMCO-E.T.S.I. de Minas de Madrid.
- Kelton, W.D., Sadowski, R. P., Sturrock, D.T.(2008). *Simulación con Software Arena*, Mcgraw-Hill.
- Hillier, F.S. /Lieberman, G.J. (2000). *Investigación de Operaciones*, México, Mcgraw-Hill.
- Winston, W.L. (2005). *Investigación de operaciones: Aplicaciones y Algoritmos*, Mexico: Thomson.

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores, Fredy Huayta y Wilmer Atoche, autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.*

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors, Fredy Huayta & Wilmer Atoche authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*