

**Evaluación y efecto de los errores en los modelos digitales de elevación sobre el costo del inventario de materias primas**  
(ID 6279)



**CÉSAR FERNANDO MENESES DELGADO**  
**Ingeniero Topográfico**

Universidad Distrital  
Universidad de Boyacá  
Colombia  
2012

FIG - 8<sup>th</sup> FIG Regional Conference 2012  
Surveying towards Sustainable Development  
Montevideo, Uruguay, 26 - 29 November 2012

Fonte imagen:  
<http://parkindustries.com.au/home/wp-content/uploads/2011/11/sw300mining.jp>

## Contenido

- Introducción
- Errores y calidad en los modelos digitales de elevación
- Metodología del Experimento
- Resultados
- Evaluación y efecto de los errores MDE en el costo de materias primas
- Conclusiones
- Aplicaciones

# Introducción

Zona de estudio

Fábrica de Cemento Argos S.A

- **Localización:**  
 Longitud: 5°45'47.72"N  
 Latitud: 72°53'22.08"O
- Ubicada a 3 horas al norte de Bogotá, capital de Colombia
- Capacidad instalada: **870.000 ton** de cemento al año
- Producción de Clinker: **530.000 ton** al año.

Sogamoso,  
Boyacá,  
Colombia  
Fuente: Google Earth

# Introducción

Mining

Materias primas  
(Raw Materials)


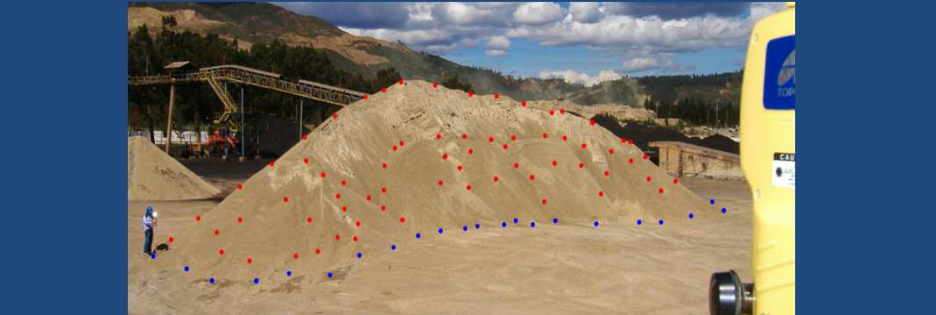
Producto terminado

+ Proceso de transformación = →

Fuente:  
<http://news.junkpost.com/2010/01/06/cpa-gives-mining-companies-reason-to-celebrate-while-environmentalists-say-fool/>  
<http://cosamurc.org/revista/ochotoda/wp-content/uploads/2010/11/rare-earth-oxides.jpg>

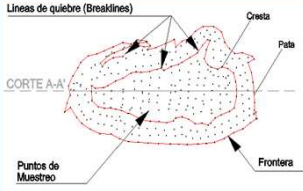
**Topografía- Cubicar**

# Introducción





Fuente: Argos, S.A

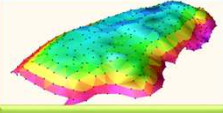
**Líneas de quiebre (Breaklines)**



CORTE A-A'




CORTE A-A'

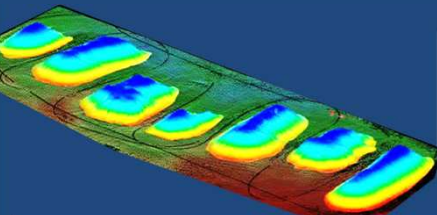


**Modelo 3D-Stockpile**

**Volúmen reportado**

# Introducción





Donde:



**V**=Volumen (m<sup>3</sup>)

**D<sub>MP</sub>**=Densidad materia prima

**W**=Peso (ton)

$$D_{MP} = \frac{W}{V}$$

Clasificación	Cant. Topografía Ton	Cant. ERP Ton	Diferencia Ton	VALOR (\$)		DIFERENCIAS	
				TOPOGRAFIA	ERP	\$	%
CAUZA EXPLOTADA	28,143	27,873	270	\$ 1,065,432,451	\$ 1,053,246,720	\$ 10,185,731	1%
CAUZA TRITURADA	15,640	20,380	-4,740	\$ 312,854,434	\$ 407,678,130	-\$ 94,823,796	-23%
SIAL	850	846	4	\$ 504,050	\$ 501,642	\$ 2,408	0%
ARRABIO	803	652	151	\$ 1,078,718	\$ 652	\$ 1,078,066	23%
CARBON MOLIDO	42	0	42	\$ 4,801,466	\$ 0	\$ 4,801,466	1%
YESO TRITURADO	624	54	570	\$ 136,133,571	\$ 136,133,571	-\$ 63,194,751	-46%
CRUIDO	5,310	78	5,232	\$ 140,288,319	\$ 140,288,319	\$ 2,098,802	1%
ESCORIA PROCESADA	10,677	783	9,894	\$ 447,120,347	\$ 447,120,347	\$ 12,181,997	3%
YESO NACIONAL	1,256	114	1,142	\$ 117,574,047	\$ 117,574,047	\$ 4,073,720	3%
ESCORIA NACIONAL	6,962	4,966	1,996	\$ 47,323,422	\$ 48,039,583	-\$ 19,313,837	-40%
CARBON CLINKER	5,051	5,504	-453	\$ 455,720,095	\$ 496,602,076	-\$ 40,881,981	-9%
MINERAL DE HIERRO	1,496	1,569	-73	\$ 112,177,235	\$ 117,688,449	-\$ 5,511,214	-5%
CARBON AUTOGENERACION	1,356	1,931	-576	\$ 159,709,167	\$ 227,527,398	-\$ 67,818,231	-30%
CLINKER	6,659	6,926	-267	\$ 464,263,127	\$ 482,879,594	-\$ 18,616,472	-4%
CEMENTO GRANUL	4,725	4,702	23	\$ 245,520,752	\$ 245,889,392	\$ 1,668,362	0%


=


Fuente: Argos S.A

# Errores y calidad en Modelos digitales de elevación

**MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN:** « Representación simplificada de la realidad », «inherentemente impreciso»(Cuartero. et al, 1994)

**Tipos de errores:**

- Errores sistemáticos
- Errores aleatorios
- Errores gruesos

**La calidad de MDE , 5 factores.(Li. Z et al, 2005)**

- Precisión en la captura de datos
- Densidad de muestreo de datos
- Distribución, en la captura de datos.
- Morfología y rugosidad del material
- Método de interpolación (TIN, Kriging etc.)

- Morfología> Densidad de muestreo>Método de interpolación (RMSE ó EMC) (Aguilar et al, 2002)  
 - En teoría, A mayor densidad mayor > precisión en volumen ( Pflipsen. B. 2006 )

**Problema:**

- Errores en volumen de un MDE?... US\$?
- Cumplir precisión determinada en términos de volumen con estación total?

**Solución alternativa:** Cálculo de Curvas Volumétricas y generación de Ábacos

# Técnica - Cálculo Curvas Volumétricas

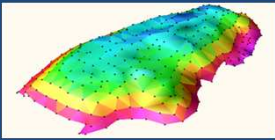
Cálculo Curvas Volumétricas, A. Seco Meneses et al,2005. Universidad de Navarra, España, ASCE-EE.UU

Fuente: Andrés Seco Meneses et al. 2005. ASCE.

- No necesita modelos de referencia para evaluar la Q de un DTM.
- Evaluar cualquier superficie.
- Densidades de muestreo vs Q del DTM

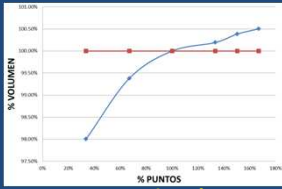
## Técnica de Cálculo Curvas Volumétricas

Objetivo: Evaluar los errores en volumen y costo (2011)



757 pilas de stock (2011)

=



757 Curvas Volumétricas

↓ Solución alternativa

Experimento + curvas volumétricas + Ábacos de referencia

↔

3 meses representativos = 189 PILAS

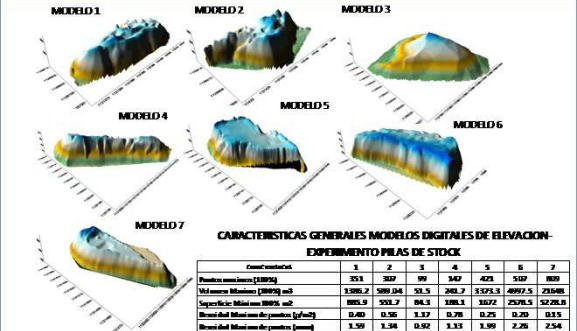
## Metodología-Experimento

### CONTROL DE VARIABLES:

- **Precisión en la captura** = Constante , Estación total y accesorios (1- 5 cm)
- **Distribución, en la captura** = Constante , Grilla rectangular+ puntos relevantes.
- **Morfología y rugosidad del material**= Constante , pilas de stock formadas con maquinaria amarilla, Cargadores, piso planos. Granulometría 1 a 2 plg.
- **Método de interpolación** = Constante ,TIN
- **Densidad de muestreo de datos** = Variable, Reducción de puntos aleatoria 90%, 80%, 60%, 40% y 20%

### MODELOS DE REFERENCIA (7)

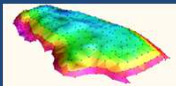
«Tamaño y densidad»



CARACTERÍSTICAS GENERALES MODELOS DIGITALES DE ELEVACION- EXPERIMENTO PILAS DE STOCK

Característica	1	2	3	4	5	6	7
Puntos muestreados (2009)	353	357	88	167	471	507	800
Volumen Modelo (2009) m <sup>3</sup>	3386.2	589.04	50.5	248.7	3373.3	4897.5	21648
Superficie Modelo (2009) m <sup>2</sup>	885.9	553.7	84.3	188.1	3372	2578.5	5228.8
Área del Modelo de puntos (p=9)	0.40	0.56	1.17	0.78	0.25	0.20	0.53
Área del Modelo de puntos (p=25)	3.50	3.58	0.92	1.33	1.90	2.25	2.54

## Metodología - Tratamientos



**MDE 100%**

**Variable Independiente:** Densidad de muestreo (p/m<sup>2</sup>)

**Variable dependiente:** Volúmen (m<sup>3</sup>)

PUNTOS	DISEÑO DE TRATAMIENTOS DEL EXPERIMENTO x MODELO DE REFERENCIA										RESULTADO		
90%		M1:1 Vol:1 As: 1		M2:2 Vol:2 As: 2		M3:3 Vol:3 As: 3		M4:4 Vol:4 As: 4		M5:5 Vol:5 As: 5		M6:6 Vol:6 As: 6	Vol90% PROM Area90% PROM
80%		M1:1 Vol:1 As: 1		M2:2 Vol:2 As: 2		M3:3 Vol:3 As: 3		M4:4 Vol:4 As: 4		M5:5 Vol:5 As: 5		M6:6 Vol:6 As: 6	Vol80% PROM Area80% PROM
60%		M1:1 Vol:1 As: 1		M2:2 Vol:2 As: 2		M3:3 Vol:3 As: 3		M4:4 Vol:4 As: 4		M5:5 Vol:5 As: 5		M6:6 Vol:6 As: 6	Vol60% PROM Area60% PROM
40%		M1:1 Vol:1 As: 1		M2:2 Vol:2 As: 2		M3:3 Vol:3 As: 3		M4:4 Vol:4 As: 4		M5:5 Vol:5 As: 5		M6:6 Vol:6 As: 6	Vol40% PROM Area40% PROM
20%		M1:1 Vol:1 As: 1		M2:2 Vol:2 As: 2		M3:3 Vol:3 As: 3		M4:4 Vol:4 As: 4		M5:5 Vol:5 As: 5		M6:6 Vol:6 As: 6	Vol20% PROM Area20% PROM

- ✓ Alta densidad de puntos.
- ✓ Reducción sistemática de puntos (Aleatoria-6 muestreos)
- ✓ Comportamiento del volumen
- ✓ Generación de Curvas Volumétricas de referencia
- ✓ Generación de Ábacos

## Resultados-Curvas Volumétricas

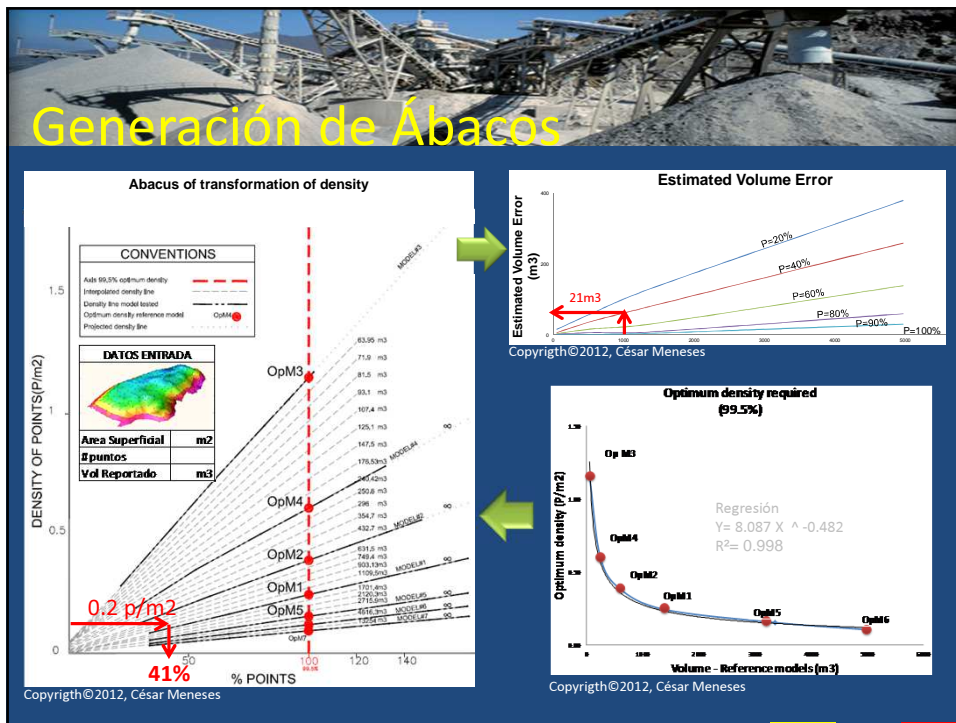
**CURVAS VOLUMETRICAS\_ MODELOS DE REFERENCIA**

Zona 2      Zona 1

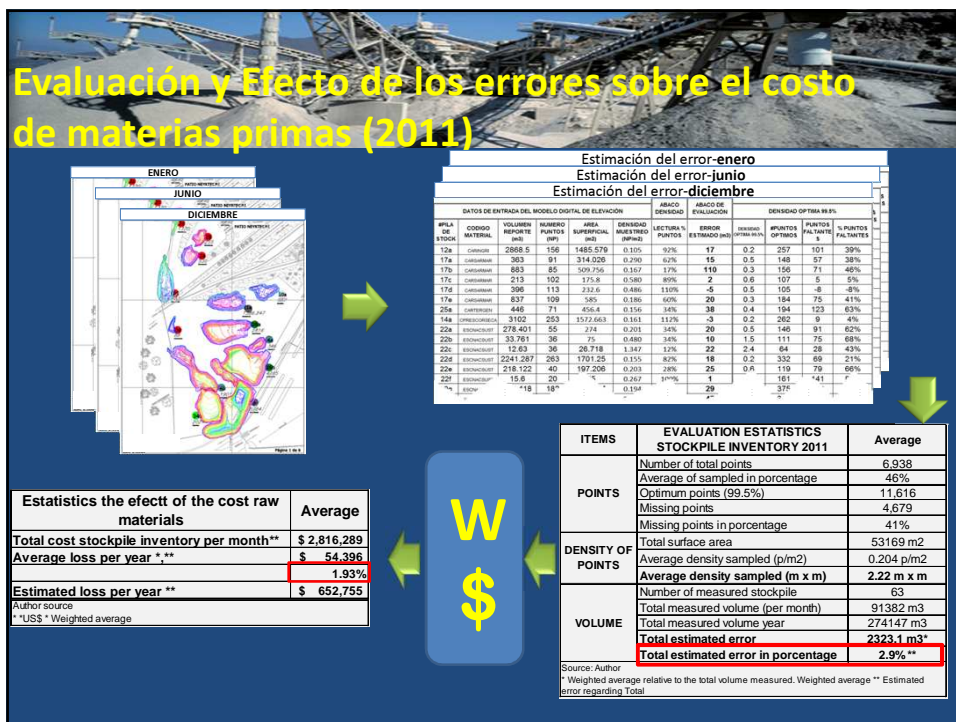
60%      100%


Ecuaciones de tendencia Lineal Y= ax + b			
MODELO	a	b	R <sup>2</sup>
1	0.0206	0.9798	0.8608
2	0.0257	0.9752	0.9596
3	0.1593	0.8382	0.9448
4	0.0236	0.9769	0.9877
5	0.0137	0.9854	0.8778
6	0.0129	0.9863	0.9021
7	0.0127	0.9872	0.9811

# Generación de Ábacos



# Evaluación y Efecto de los errores sobre el costo de materias primas (2011)





## Conclusiones

- Las eficiencias de los inventarios de materias primas, con estación total en el 2011, fueron:
  - 97.1 % en volumen** **97.5 % en peso** **98 % en costo**
- La densidad optima es inversamente proporcional al tamaño de la pila de stock, en términos de porcentaje de volumen.
- Con el **46%** de los puntos tomados en el **2011**, generó una eficiencia del **98%** en el costo de materias primas.
- Para generar una eficiencia del **99.5%** sobre el costo, se requeriría el **doblo de tiempo** y recursos adicionales...(scanner, LiDAR, etc)
- La metodología desarrollada permite trabajar a cualquier eficiencia requerida (directivas del negocio)



## Aplicaciones

- ✓ Exportaciones e importaciones de materias primas  
(Mining Industry)
- ✓ Parámetros de calidad en proyectos de medición, en términos de volumen
- ✓ Evaluación de calidad post-levantamiento
- ✓ Realizar ajustes en los volúmenes reportados
- ✓ Mejor control de los niveles de inventarios
- ✓ Densidad mínima de puntos en los levantamientos topográficos
- ✓ Proyectos viales (cubicaciones)





<http://www.hebusinessonline.ca/sites/default/files/articulos/BC-Mining-Companies-0.jpg>

**Preguntas?**

**Gracias**

[http://www.ppt.com/images/05092012171155@stockphoto\\_0000067622381Large%20mining%20web.jpg](http://www.ppt.com/images/05092012171155@stockphoto_0000067622381Large%20mining%20web.jpg)

**Contacto:**  
e-mail: cesar95m@hotmail.com  
cmeneses@argos.com.co

«Evaluación y Efecto de los Errores en los Modelos Digitales de Elevación sobre el Costo de Inventario de Materias Primas»  
**César Fernando Meneses Delgado**  
Ingeniero Topográfico. Esp. Project Management  
Colombia