



XIII CONGRESO NACIONAL DE AGRIMENSURA

Agrimensura, más allá del territorio



9, 10 y 11 | OCTUBRE 2019
Hotel Sheraton | Mendoza - Argentina



XII CONGRESO
NACIONAL DE
AGRIMENSURA

9, 10 y 11 | OCTUBRE 2019
Hotel Sheraton | Mendoza - Argentina

DETECCIÓN DE CAMBIOS EN UN DESNIVEL POR MEDIO DEL ESTADÍSTICO CUSUM

Claudio E. Justo¹, María Valeria Calandra² y Franco Rodríguez³

1) Claudio E. Justo, Departamento Agrimensura Facultad de Ingeniería de La Plata. Integrante de la UIDET GAMEFI (Grupo de Aplicaciones Matemáticas en Física e Ingeniería).

2) María Valeria Calandra, Departamento de Ciencias Básicas Facultad de Ingeniería de La Plata. Integrante de la UIDET GAMEFI (Grupo de Aplicaciones Matemáticas en Física e Ingeniería).

3) Franco Rodríguez, Becario Departamento de Agrimensura Facultad de Ingeniería de La Plata





Qué herramientas tengo?

- Cartas de control para la media
- Control de medias
- Control de valores individuales(*)
- Cartas de control para la variabilidad
- Cartas de control para la varianza
- Carta de control para la desviación estándar
- Carta de control para el rango
- Carta de control para el rango móvil(*)





Pérdida del Control de un Proceso

- Ocurren cuando aparecen causas asignables (las que puedo controlar)
- Pueden ocurrir en el proceso de medición
- Pueden ocurrir en el objeto de medición





Trabajo Realizado

- Medición de un desnivel desde el medio.
- Se provoca un cambio del orden de la desviación estándar informada por el fabricante del instrumento.
- Se estudia la respuesta de las cartas mencionadas.
- Se estudia el cambio con el Cusum.





Control de la Variabilidad

- Cartas de control para:
- Rango móvil $MR_t = |x_t - x_{t-1}|$
- En un proceso en control los MR_t deberían encontrarse dentro de los límites establecidos por $LCL = 0$ Y $UCL = D_4\bar{R}$





Control de la media

Carta de valores Individuales

Dados x_i $i=1$ a n valores tomados secuencialmente

$$UCL = \bar{x} + 3 \overline{MR}/d_2$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \overline{MR}/d_2$$





Formas de estudiar cambios en media

- Test de medias T-Student
Recomendado para cambios mayores a $1. \sigma$
- Cusum Simple
- $C_t = \sum_{j=1}^i (x_j - \mu_0)$
- Cusum Tabular
 - $C_i^+ = \max[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+]$
 - $C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-]$





Diseño del Cusum Tabular

$$C_i^+ = \max[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+]$$
$$C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-]$$

Con valores iniciales

$$C_0^+ = C_0^- = 0$$

el **estadístico** indica proceso fuera de control cuando supera a el intervalo de decisión determinado por **H**





Diseño del Cusum Tabular

- **Cómo elegimos K y H ?**
- $K = \frac{\delta}{2} \cdot \sigma = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2}$
- **Se recomienda**
- $k = \frac{\delta}{2}$
- **Tal que k sea el desplazamiento a determinar en número de σ**

Cambio en μ en múltiplos de σ	h=4	h=5
0	168	465
0.25	74.2	139
0.50	26.6	38
0.75	13.3	17
1.00	8.4	10.4
1.50	4.75	5.75
2.00	3.34	4.01





Estudio con observaciones simuladas

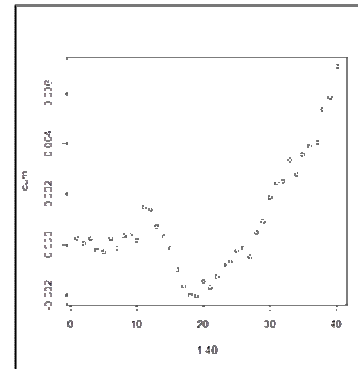
- se generaron los datos en R tal que x tiene para $i=1$ a 20, distribución Normal con $\mu = 1.5000$ $\sigma_{\Delta h} = 0.0005m$ y para $i>20$ datos Normalmente distribuidos con media $\mu + 0.0005$ y la misma desviación estándar
- $\sigma_{\Delta h} = 0.0005m$ se propagó para una estación de 60m a partir de la $\sigma_{km} = 0.0015m$ proporcionado por el fabricante.

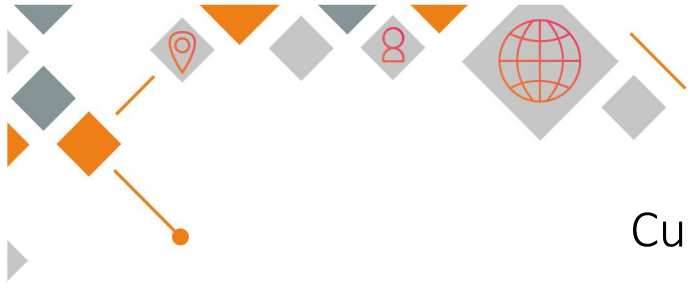




Cusum Simple

- $C_i = \sum_{j=1}^i (x_j - \mu_0)$

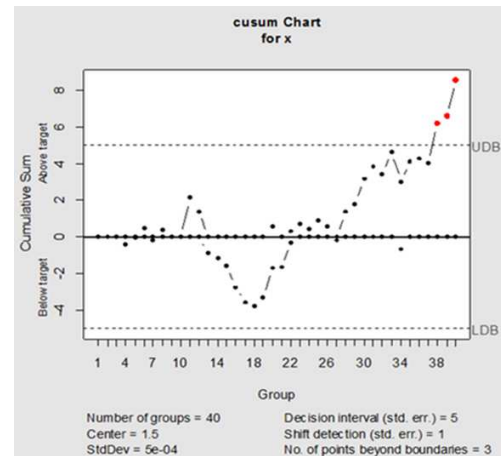




Cusum Tabular

$$C_i^+ = \max[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+]$$

$$C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-]$$





Estudio con observaciones reales

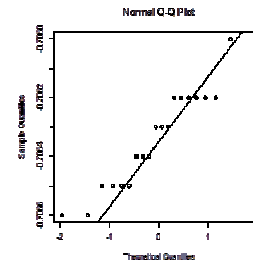
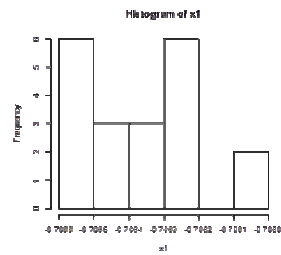
- Se midieron 40 desniveles en forma independiente y secuencial.
- Desde de la observación $i=21$ se introdujo un incremento de $1\sigma = 0.0005m$.
- Conocemos σ proporcionado por el fabricante y verificada mediante el procedimiento largo de la norma ISO 17123-2
- $\sigma_{km}(\text{doble}) = 0.0015m$
- Para una estación simple de 60m corresponde un $\sigma = 0.0005m$.

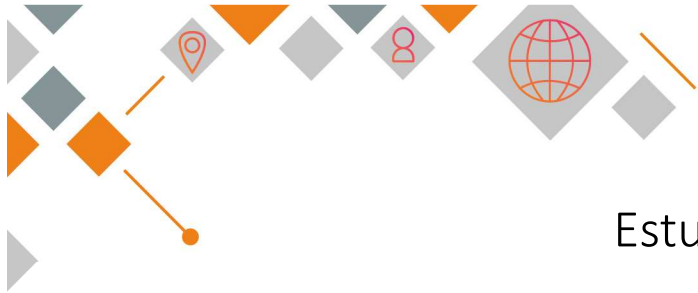




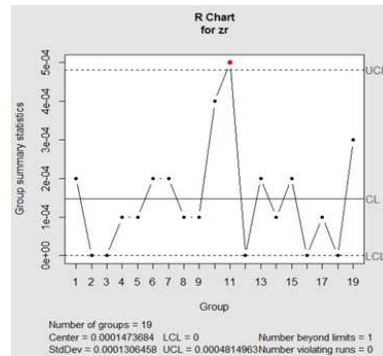
Estudios previos

- El Cusum funciona con datos Normales.
- Fase I: estudio de los datos antes del cambio para establecer el control del proceso

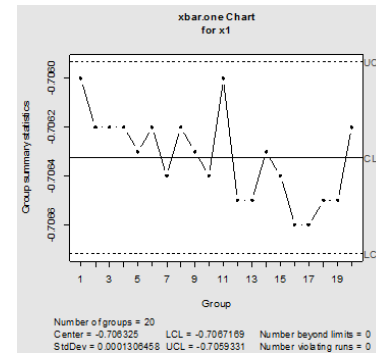




Estudios previos



Carta de Control de Rangos Móviles



Carta de Control de Valores Individuales

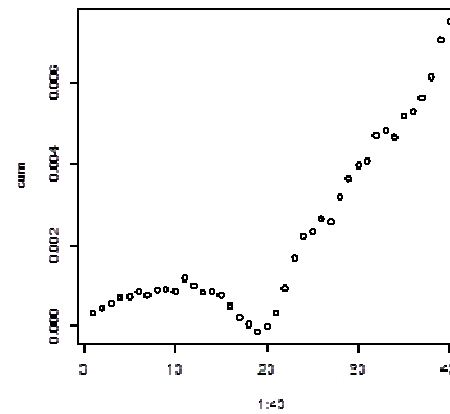


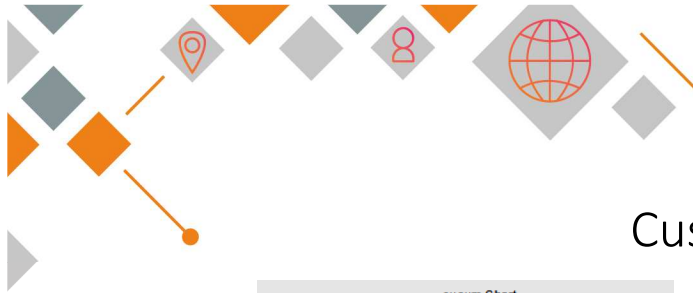


XII CONGRESO NACIONAL DE AGRIMENSURA

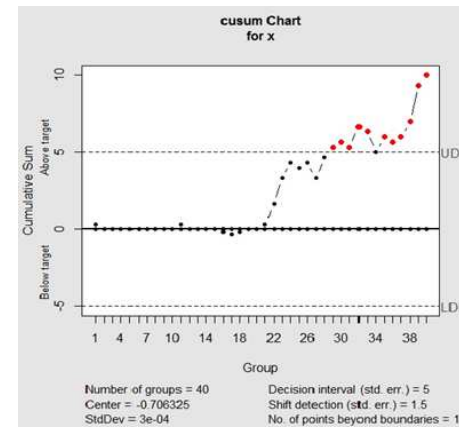
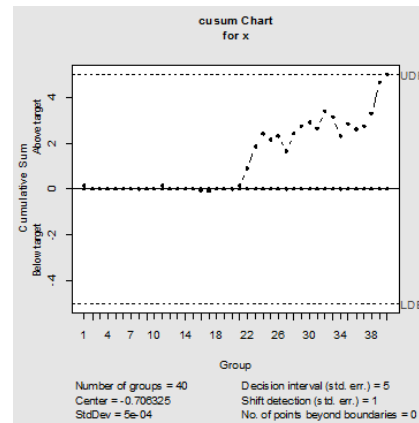
9, 10 y 11 | OCTUBRE 2019
Hotel Sheraton | Mendoza - Argentina

Cusum Simple





Cusum Tabular





Conclusiones

- El método de Cusum en sus formas Simple como Tabular exponen el cambio con rapidez.
- El establecimiento de adecuados valores en la Fase I serán fundamentales para que la performance del cusum tabular sea concordante con la prevista por Vance(1986) Tabla1.
- La toma de decisiones con herramientas estadísticas no debe hacerse en base a una sola prueba o test sino como resultado estudio conjunto.





Bibliografía

- Krishnaiah, P,R, y Miao, B.Q., 1988, **“Review About Estimation of Change Points, Handbook of Statistics, 7”**,
- Walpole, Myers , Myers. 1999, **“Probabilidad y Estadística para Ingenieros”**. Sexta Edición.Pearson Educación.
- Wolf, Ghilani . 2006, **“Adjustment Computations”**. 4 ta Edición. Wiley & Sons.
- Montgomery D. C .2009, **“Introduction to Statistical Quality Control”**. Sexta Edición.John Wiley & Sons
- NORMA ISO17123-2.2001, **“OPTICS AND OPTICAL INSTRUMENTS — FIELD PROCEDURES FOR TESTING GEODETIC AND SURVEYING INSTRUMENTS — PART 2: LEVELS”** . INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.
- <https://itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc323.htm>



¡MUCHAS GRACIAS!

XII
CONGRESO
NACIONAL DE
AGRIMENSURA
Agrimensura, más allá del territorio





anexo

$$\hat{\mu} = \begin{cases} \mu_0 + K + \frac{C_i^+}{N^+}, & \text{if } C_i^+ > H \\ \mu_0 - K - \frac{C_i^-}{N^-}, & \text{if } C_i^- > H \end{cases}$$

