

MONITOREO Y DIAGNOSTICO DE LA OPERACIÓN DE PROCESOS DE FLOTACION USANDO TECNICAS DE PROYECCION

Luis G. Bergh

**Centro de Automatización y Supervisión para la Industria Minera
(CASIM)**

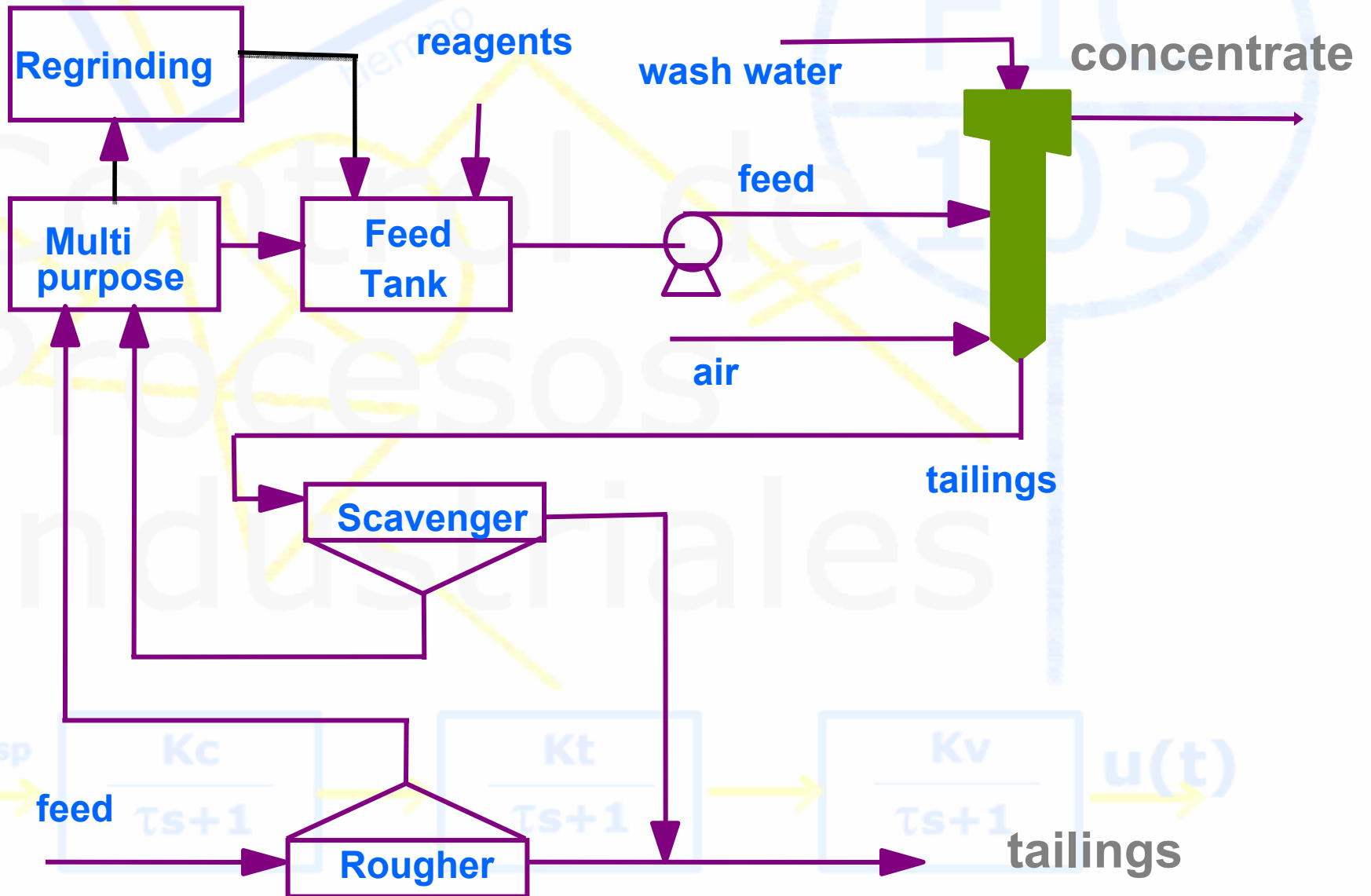
**Universidad Técnica Federico Santa María
Valparaíso, Chile**



Contenido

- **Características del problema**
- **Como extraer información desde miles de datos (Técnicas de estadística multivariable, PLS y PCA)**
- **Aplicaciones en toma de decisiones:**
 - **Monitoreo en línea de columnas de flotación**
 - **Monitoreo en línea de circuitos de flotación**
- **Conclusiones**







Column design parameters:

Diameter, high, geometry, **spargers**,
Water distributors, lip size,...

Wash water flowrate

Feed characteristics:

Flow, mineralogical species,
density, solid percentage,
particle size distribution,
grades, chemical reagents...

Froth depth

Concentrate and

Tailings grades

**Depend on many
input variables**

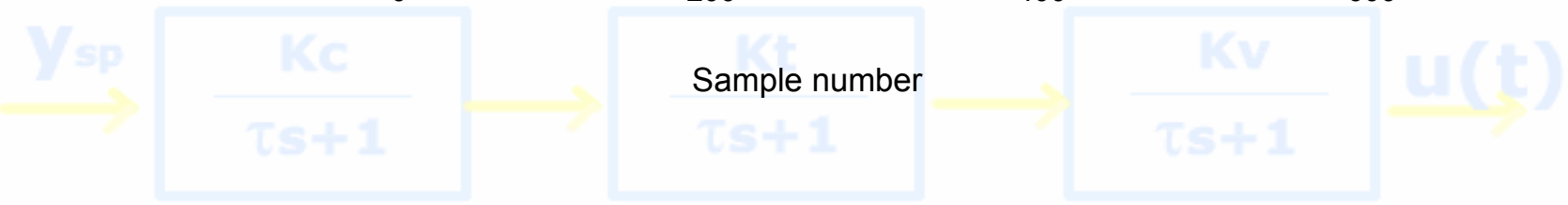
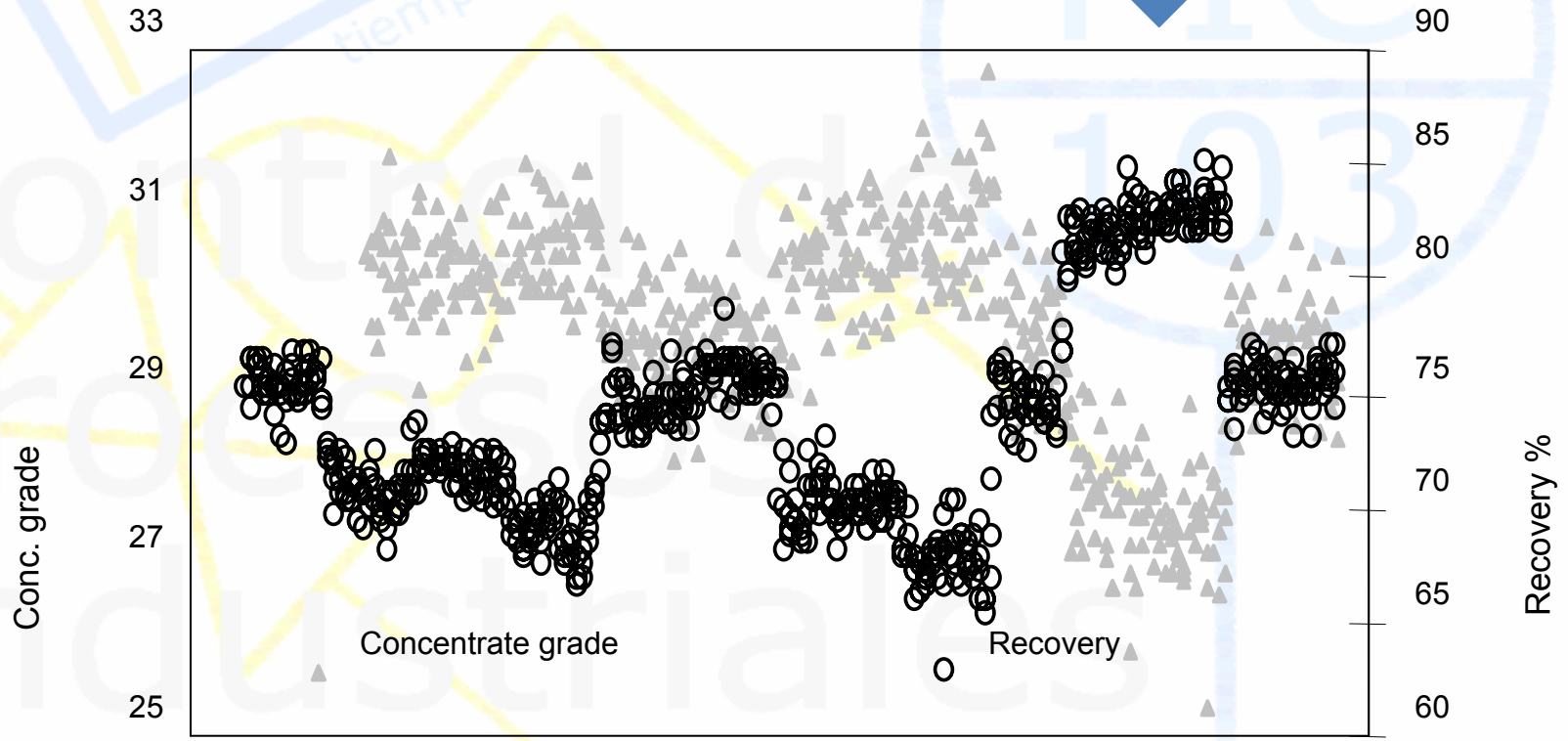
Gas holdup

Air flowrate





¿Quién es el culpable?





Column design parameters:

Diameter, high, geometry, **spargers**,
Water distributors, lip size,...

Wash water flowrate

Feed characteristics:

Flow, mineralogical species,
density, solid percentage,
particle size distribution,
grades, chemical reagents...

Froth depth

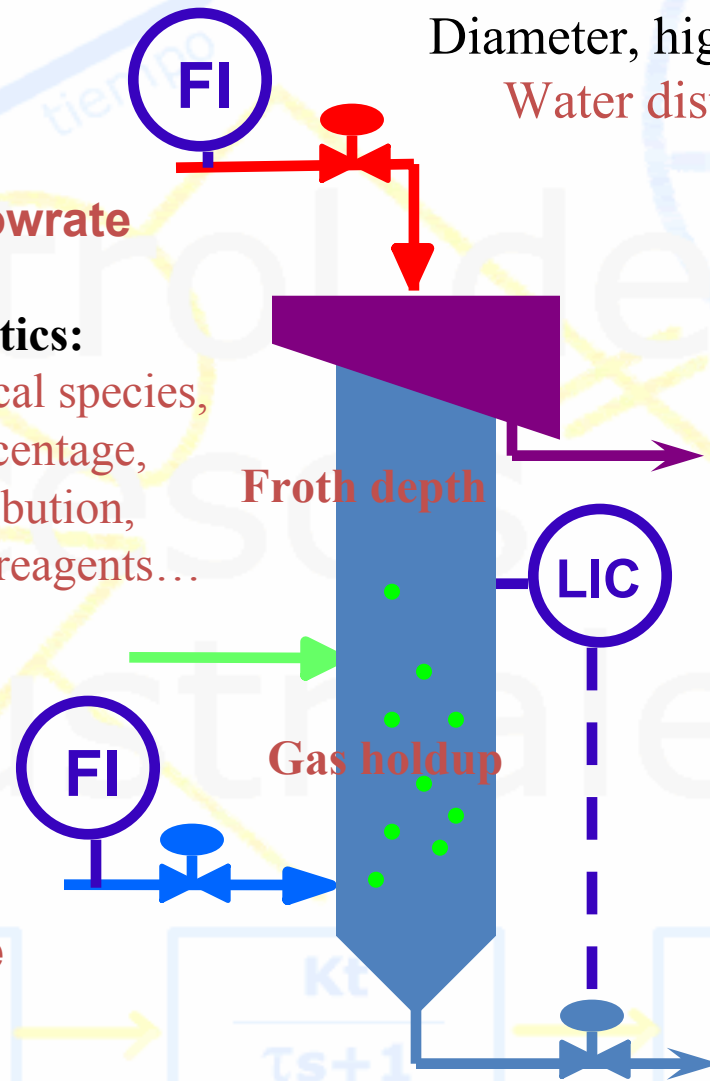
Gas holdup

Concentrate and

Tailings grades

**Depend on many
input variables**

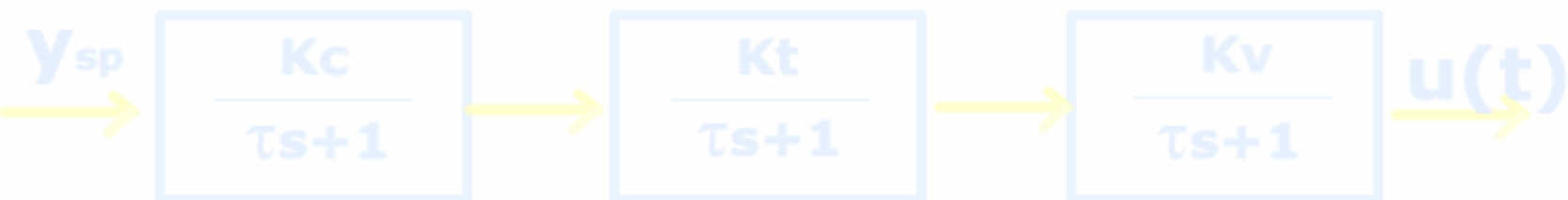
Air flowrate



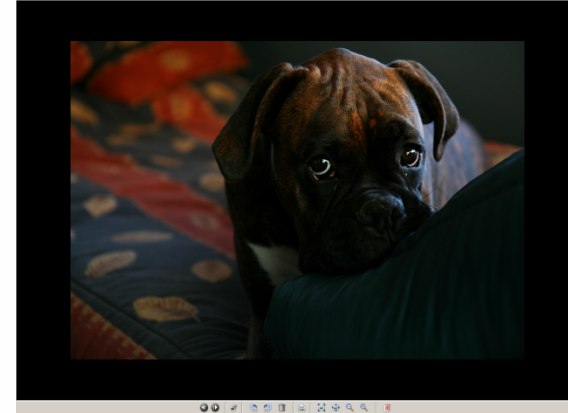


Si existen N variables de entrada tenemos un problema de dimensión N que resolver (muy complejo) y si las variables están correlacionadas entre si se agrega un problema de estimación de parámetros del modelo

¿Cómo extraer información relevante de un conjunto de datos?



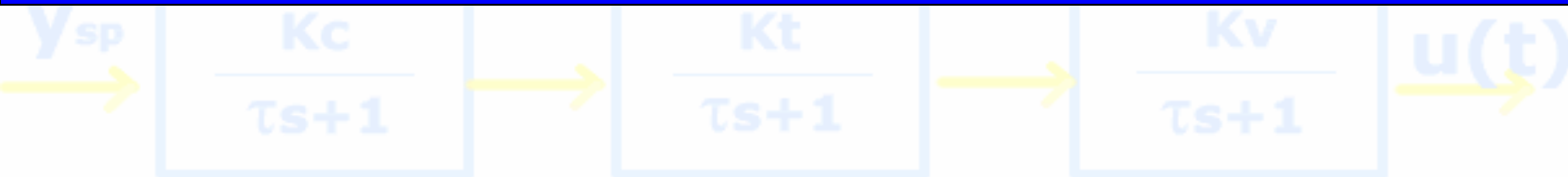




Un perro es un objeto real que tiene un volumen (tres dimensiones), pero podemos PROYECTAR una imagen en una dimensión menor (dos).

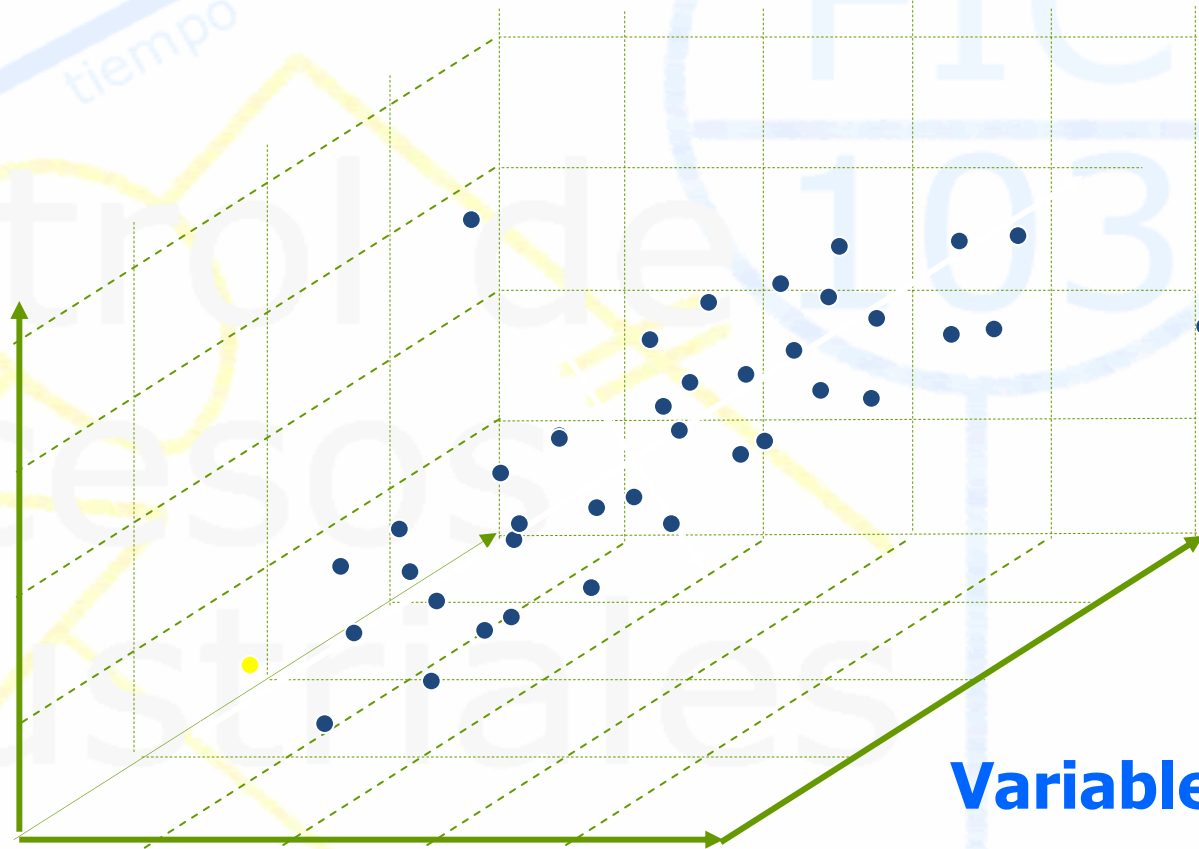
Al observar la imagen de la realidad la identificamos y la entendemos como lo que es.

¿Un proceso puede tener dimensión N , pero podemos proyectar su imagen en menos dimensiones?

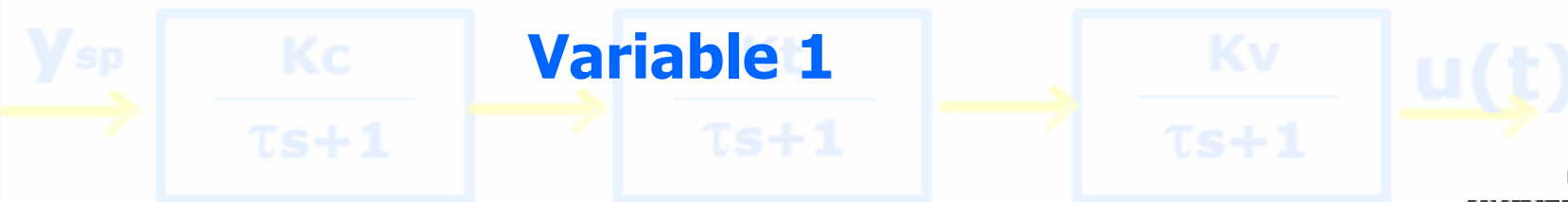


Geometric interpretation

Variable 2



Variable 3

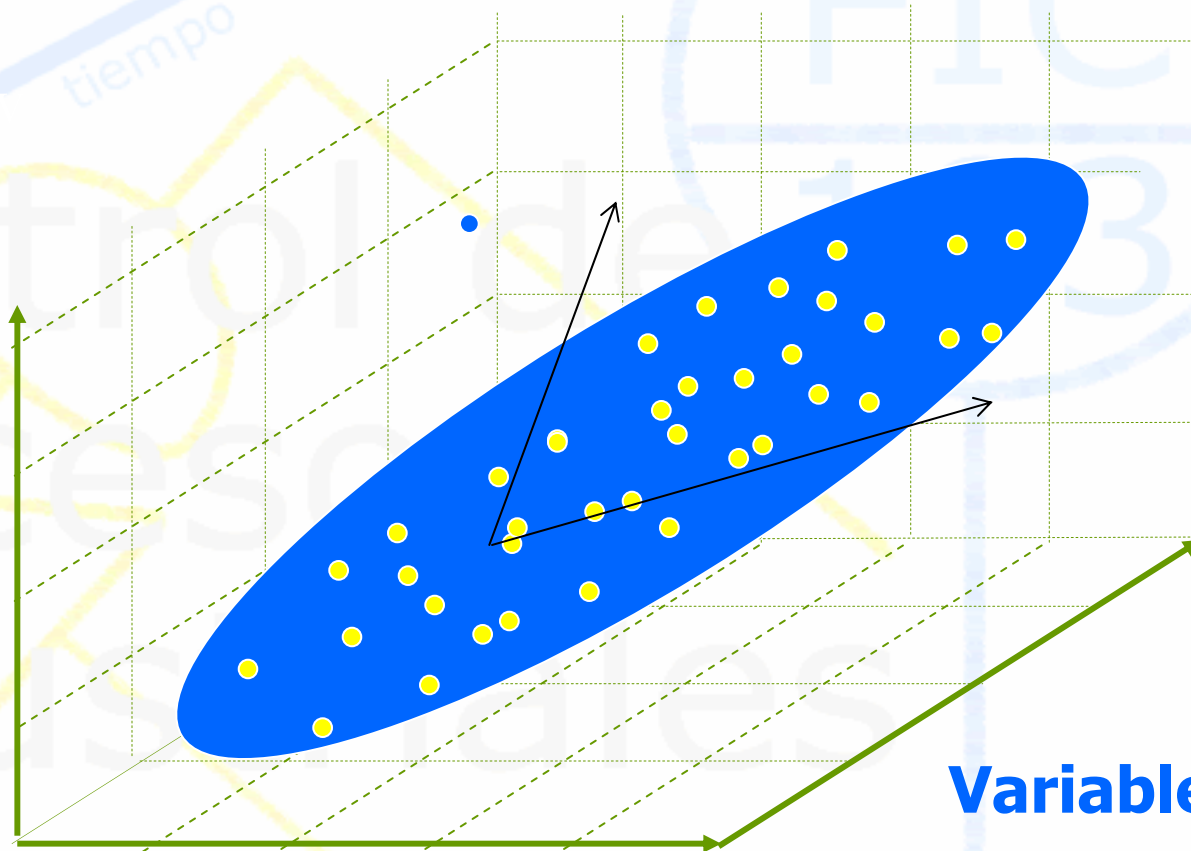


Geometric interpretation

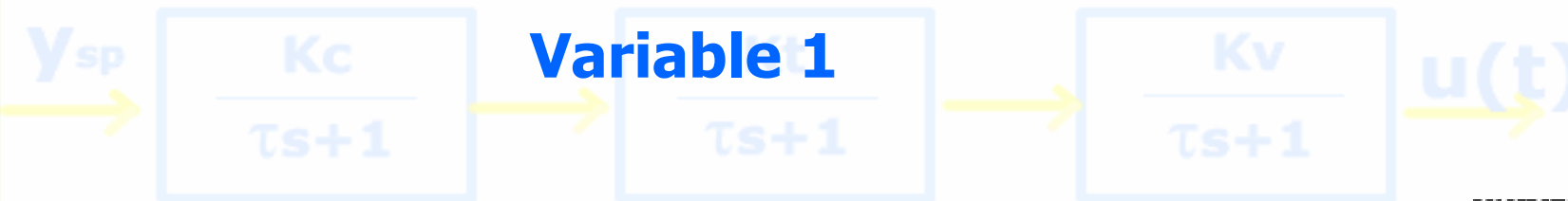
$$V = f_1(x, y, z)$$

$$W = f_2(x, y, z)$$

Variable 2



Variable 3





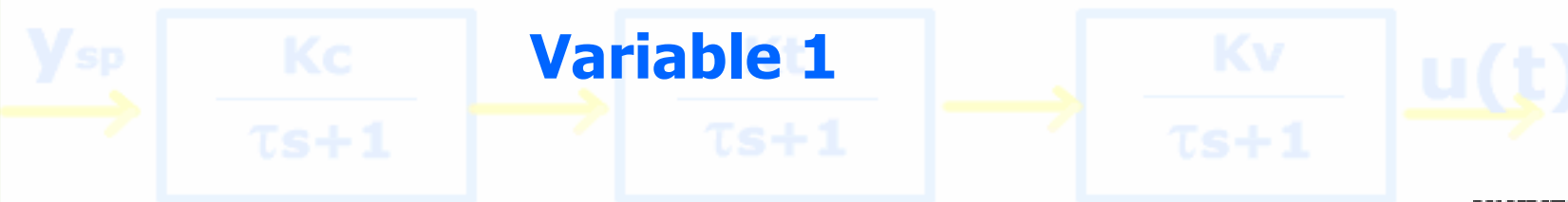
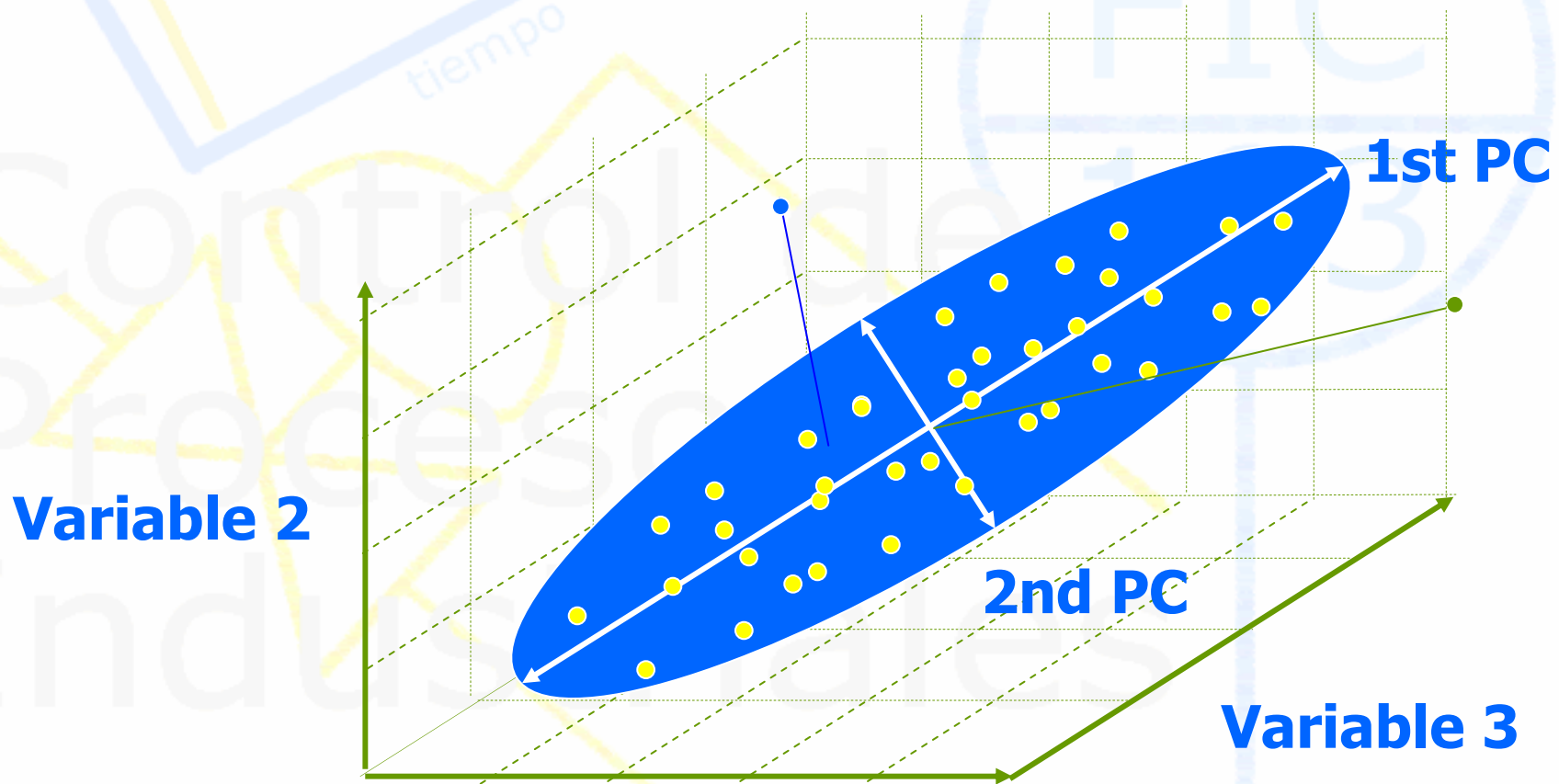
Si existen N variables de entrada tenemos un problema de dimensión N que resolver (muy complejo) y si las variables están correlacionadas entre si se agrega un problema de estimación de parámetros del modelo

Si algunas variables de entrada estuvieran **CORRELACIONADAS** entre si, tenemos un problema de estimación, pero una oportunidad de reducir la dimensión del problema a resolver (menos complejo)

PROYECCION



Geometric interpretation



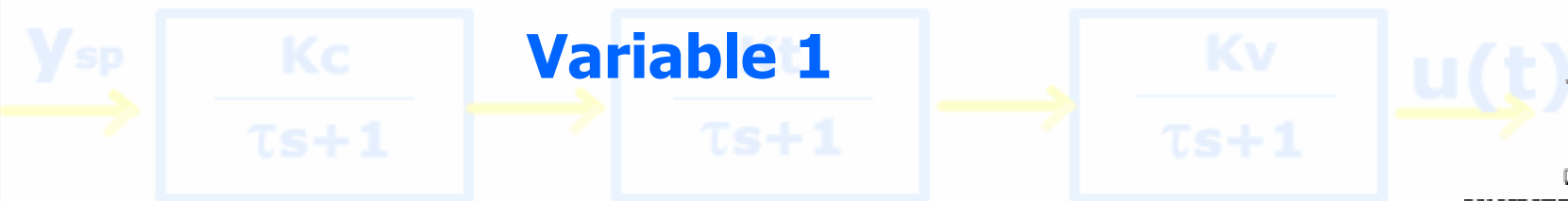
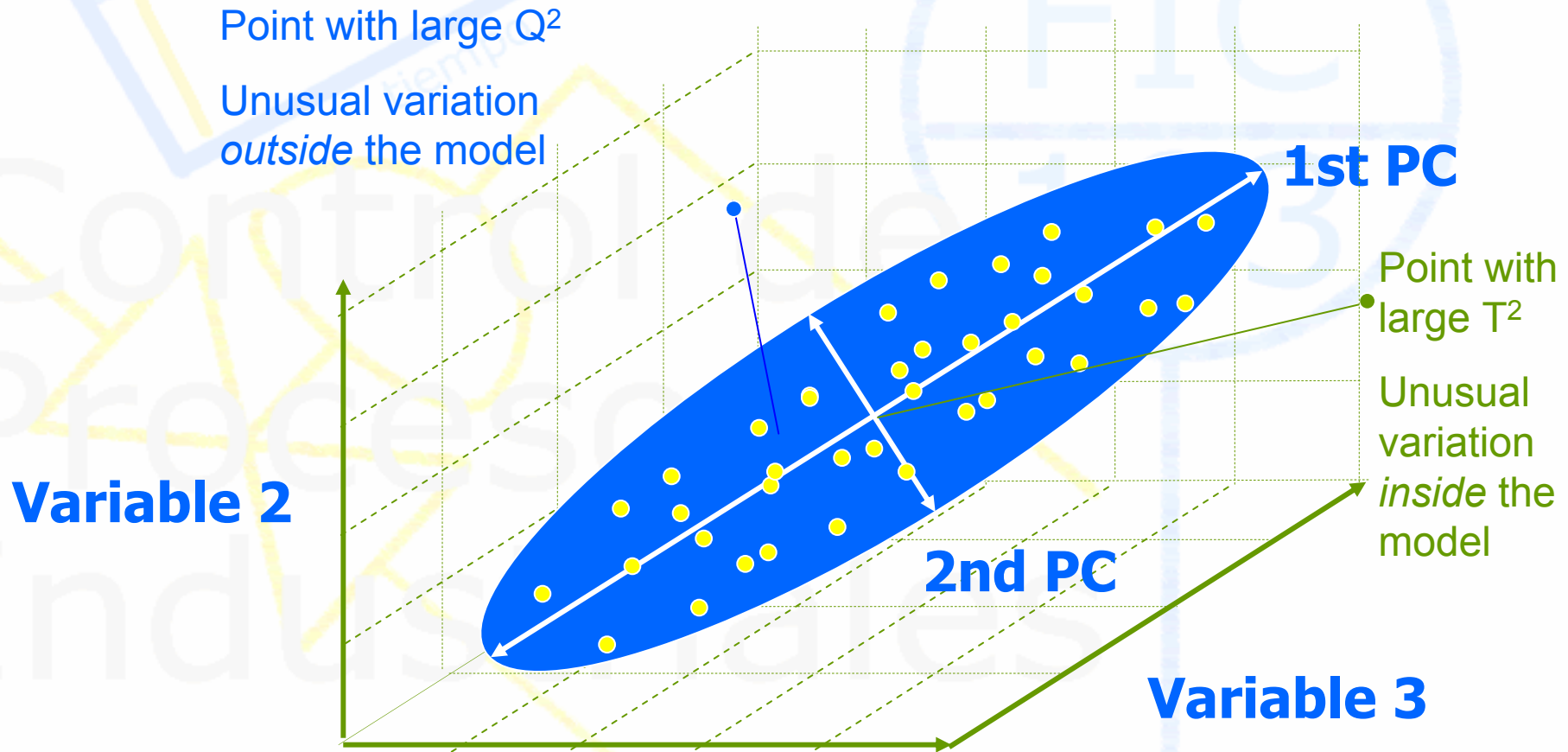


Si existen N variables de entrada tenemos un problema de dimensión N que resolver (muy complejo) y si las variables están correlacionadas entre si se agrega un problema de estimación de parámetros del modelo

Si algunas variables de entrada estuvieran **CORRELACIONADAS** entre si, tenemos un problema de estimación, pero una oportunidad de reducir la dimensión del problema a resolver (menos complejo) **PROYECCION**

Si existiera un conjunto menor de variables auxiliares, que siendo una función lineal de las variables de entrada, fueran **INDEPENDIENTES** entre si, entonces tenemos un problema de dimensión menor que resolver y una condición óptima de estimación de parámetros de un modelo

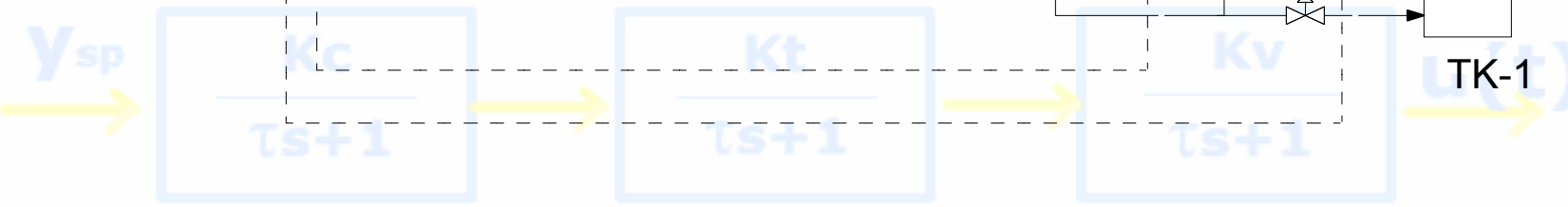
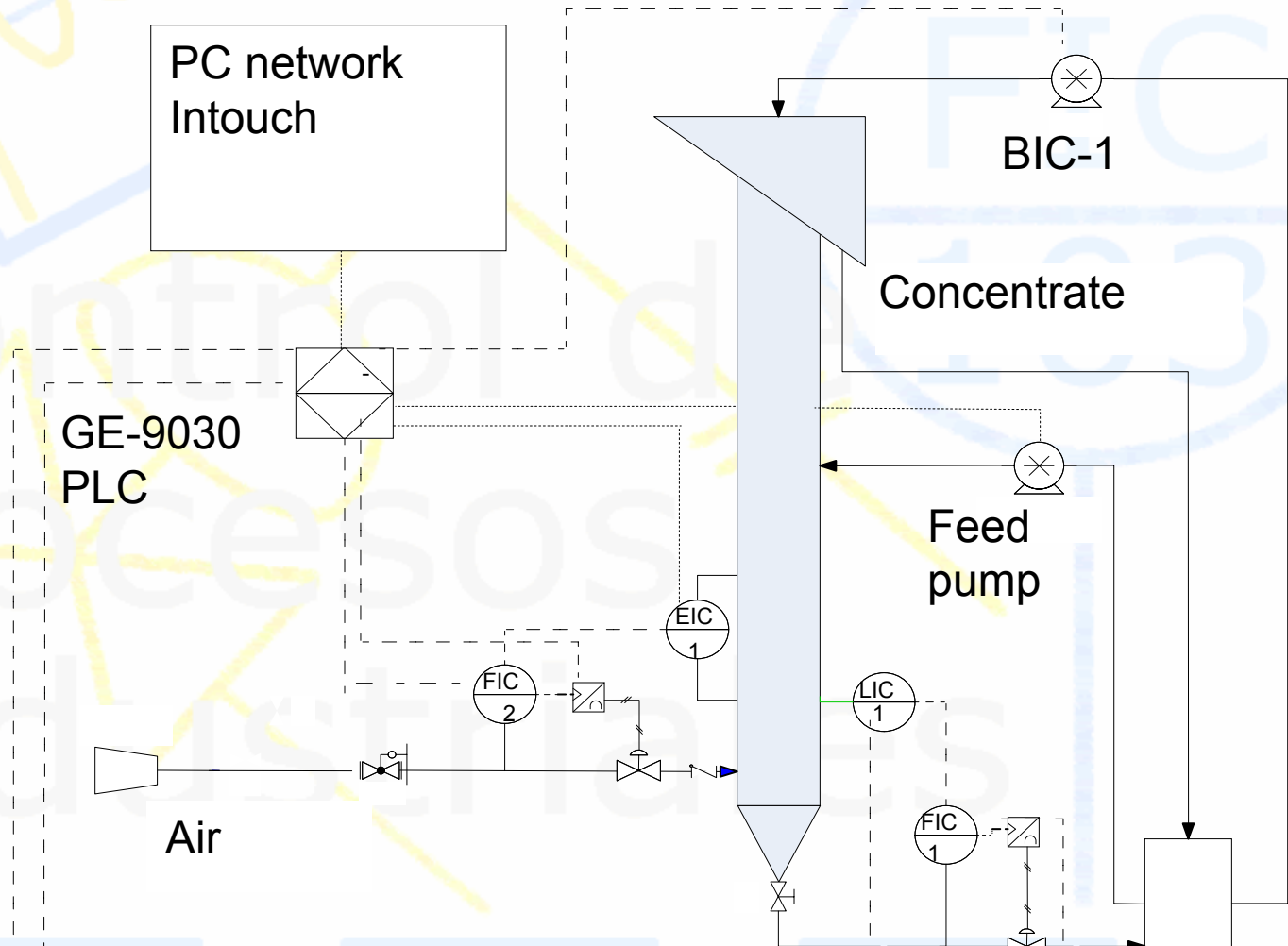
Geometric interpretation





On-line tests based on the following criteria:

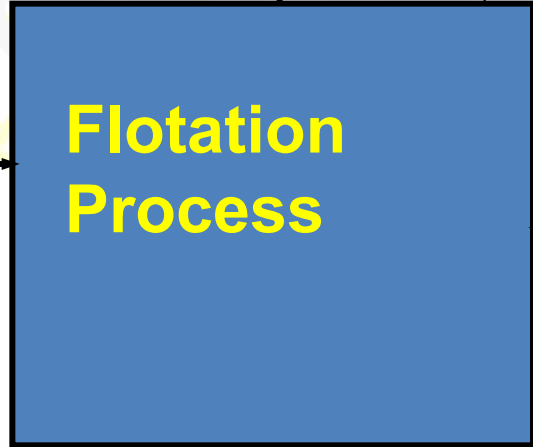
- Normal operation if the new set of data satisfies the Q and T^2 test.
- Abnormal operation if only the T^2 test is failed.
- Measurement problem or PCA model representation problem if only T^2 test is satisfied.
- If both test failed then either the model is no longer appropriate or a measurement problem occurred.
- Which combination of input variables may explain this?





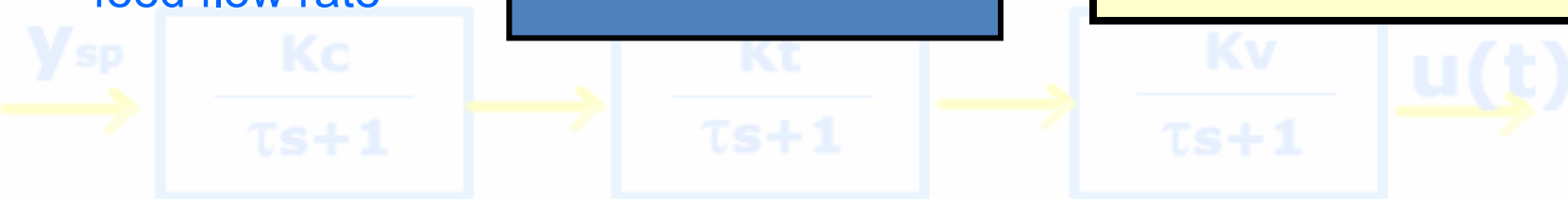
Concentrate grade
Tailings grade
Recovery
Bias rate
Gas hold up

Design parameters:
Diameter, height,
geometry...



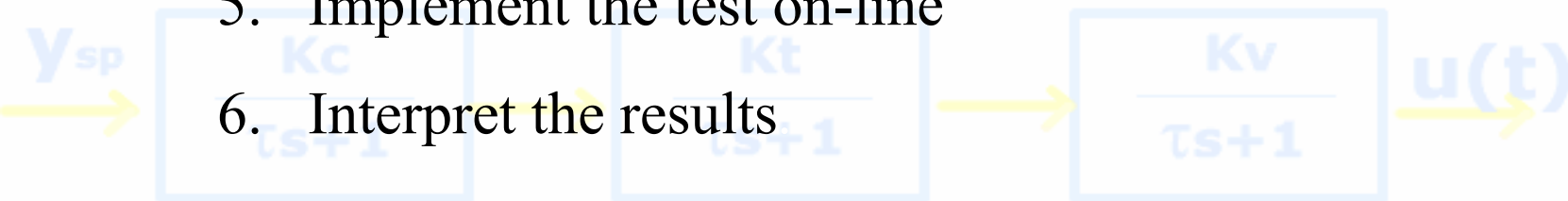
froth depth
air flow rate
water flow rate
feed flow rate

Feed characteristics:
species, density, solid
percentage, particle size,
grades, kinetic constants,
chemical reagents...





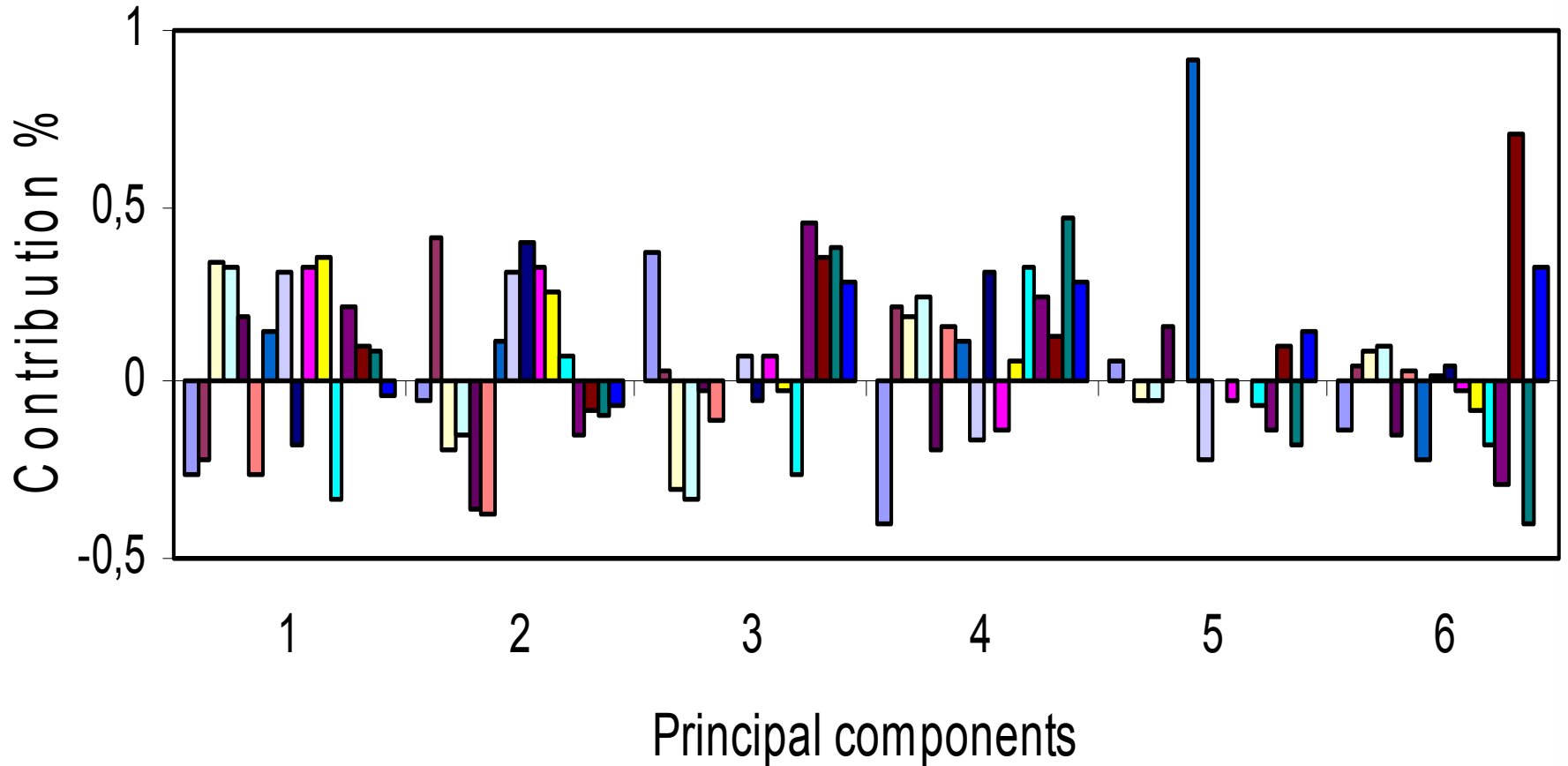
1. Collecting a set of data under different operating conditions
2. Select a subset that satisfies a so called normal condition (concentrate grade inside a band and a minimum recovery)
3. Select the number of Principal Components that explains a given variance (for example using PLS_toolbox with Matlab)
4. Build a PCA model and obtain the Q and T² test limits
5. Implement the test on-line
6. Interpret the results



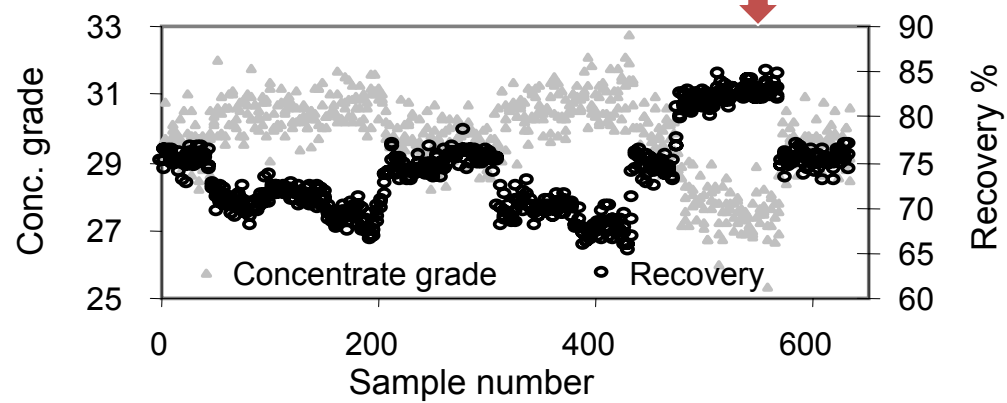
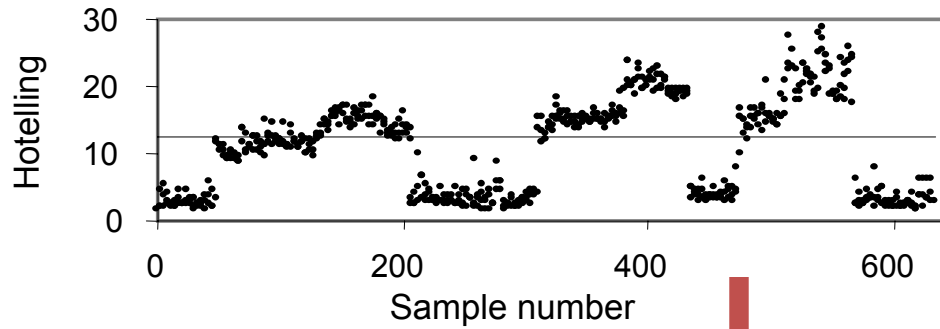
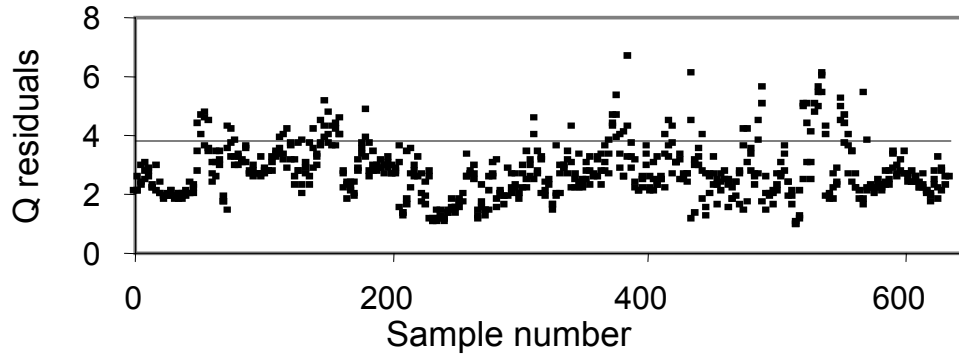


UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

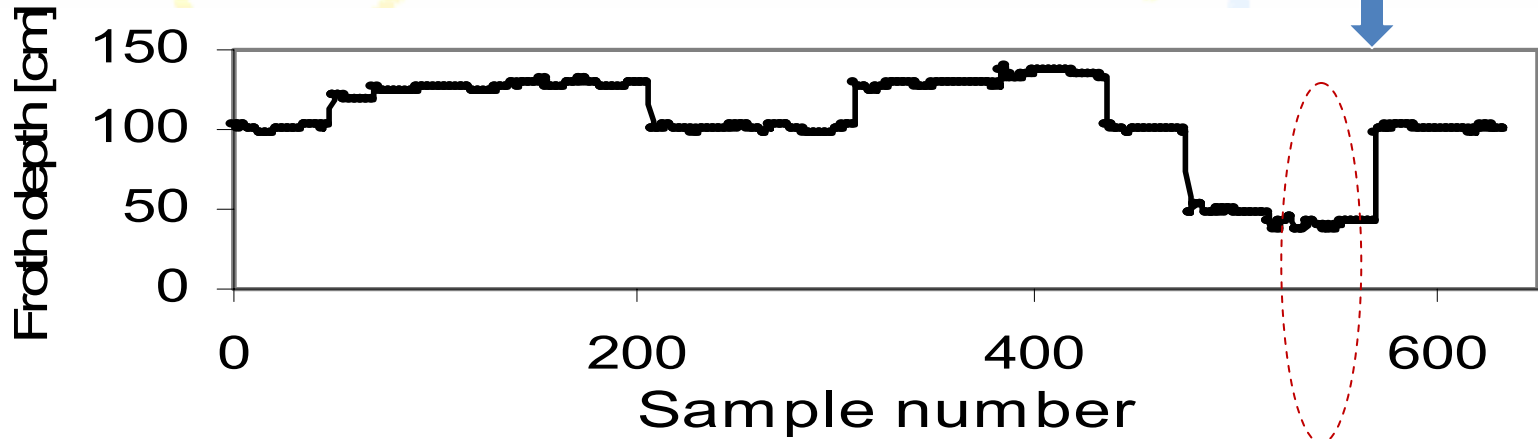
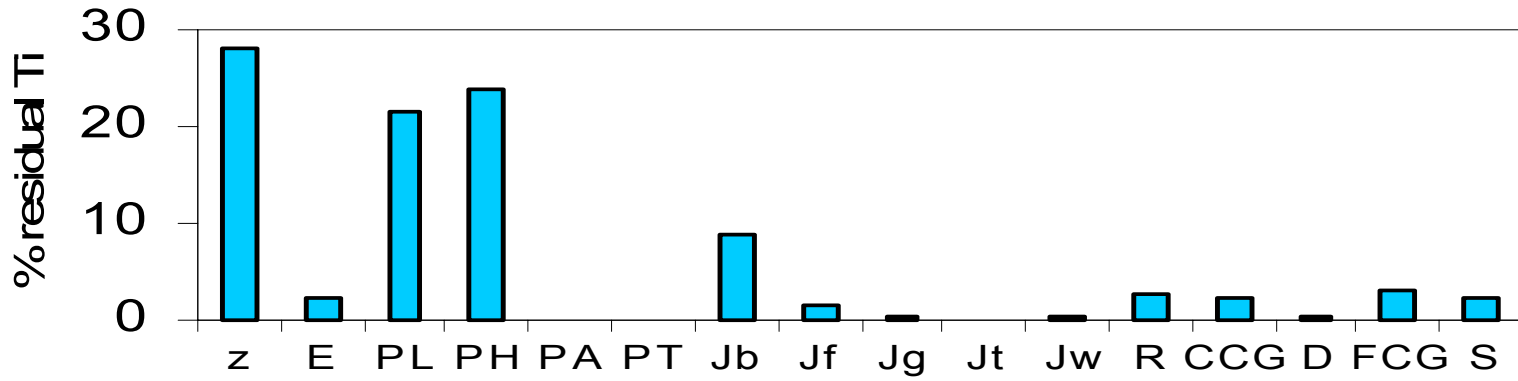
N°	Variable	Tag
1	Froth depth	z
2	Gas hold up	E
3	Dp/cell low	LL
4	Dp/cell high	LH
5	Pressure to air control valve	PA
6	Pressure to Tailings control valve	PT
7	Bias superficial velocity	Jb
8	Air superficial velocity	Jg
9	Tailings superficial velocity	Jt
10	Feed superficial velocity	Jf
11	Wash water superficial velocity	Jw
12	Cu recovery	R
13	Concentrate Cu grade	CCG
14	Feed particle size d80	D
15	Feed Cu grade	FCG
16	Feed solid percentage	S



All variables were included in the model. The first components showed the contribution of groups of correlated variables, while the last ones mostly represented the bias and the feed characteristics. For monitoring: $T^2 = 12.6$, $Q = 3.81$.

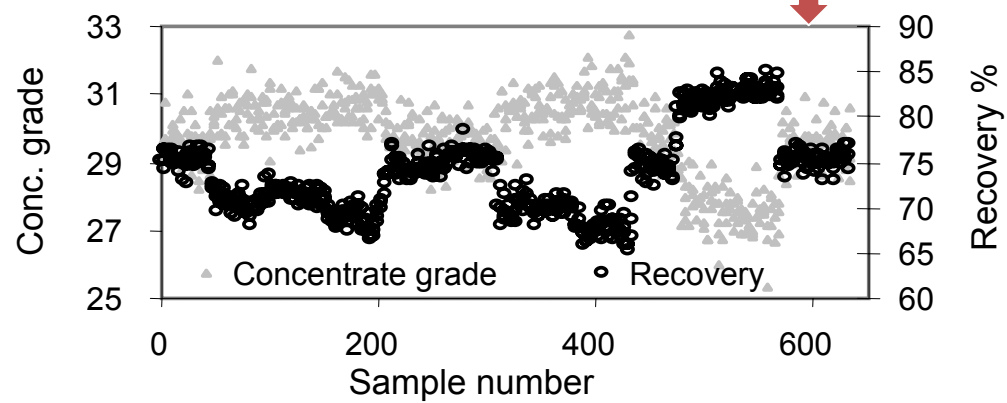
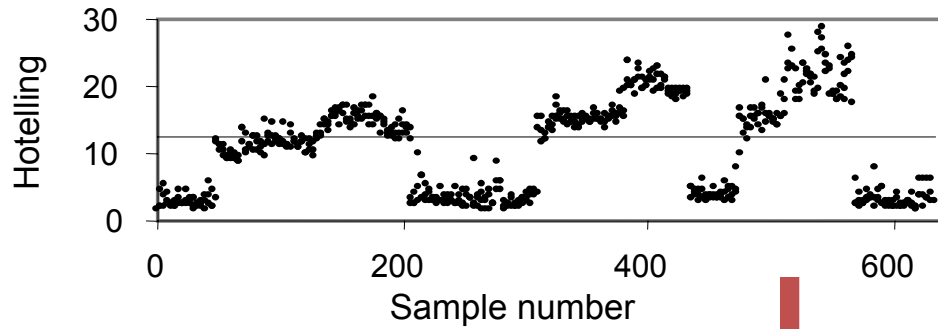
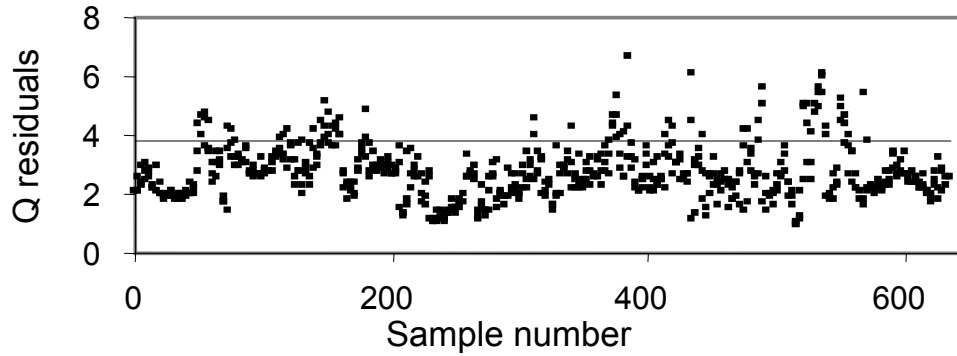


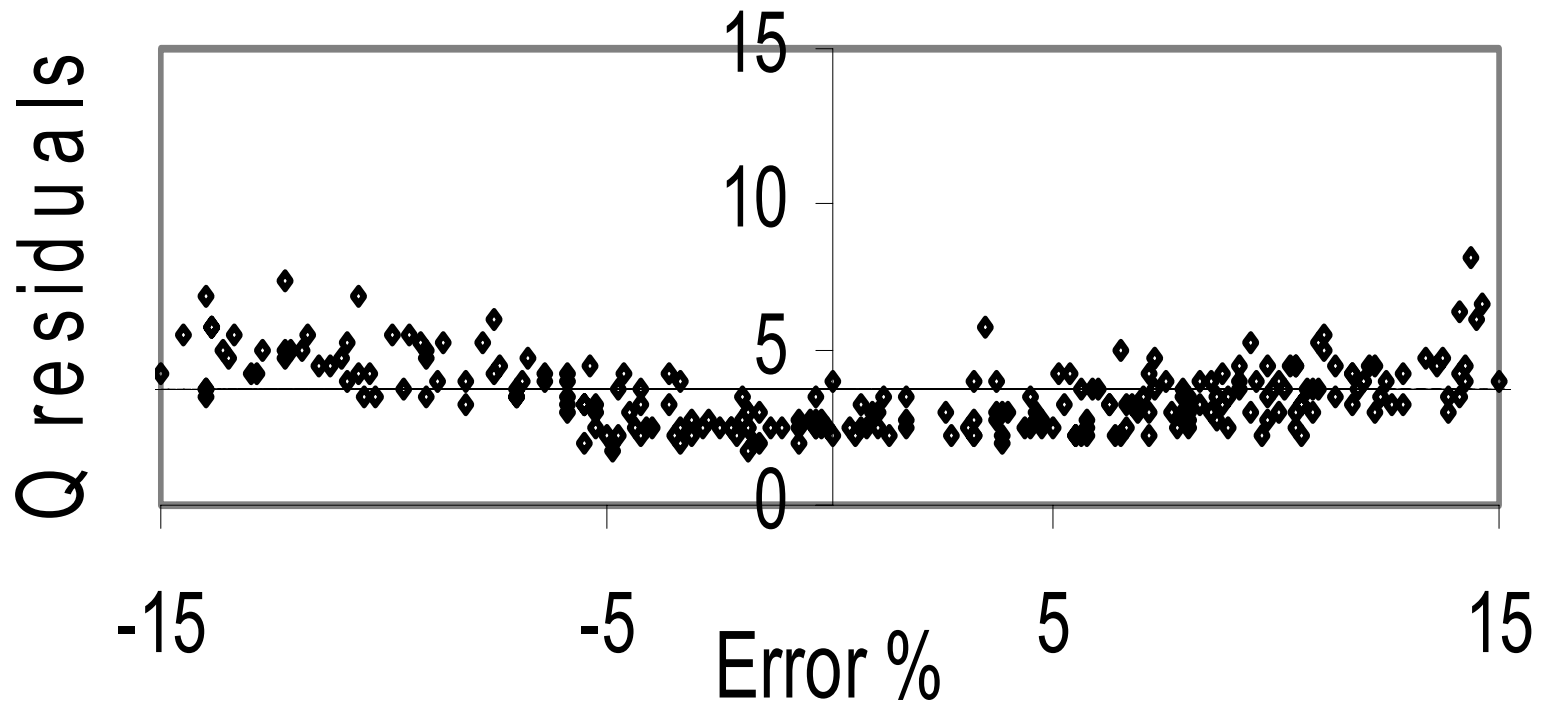
$u(t)$

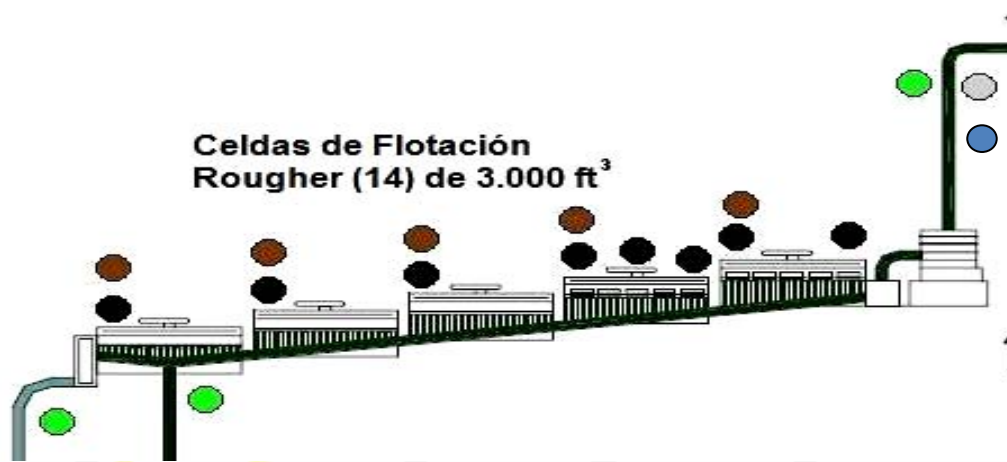




UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA







● On stream analysers

● Density

○ Particle size

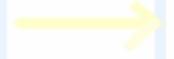
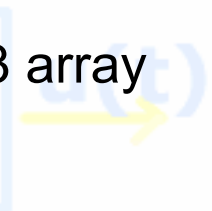
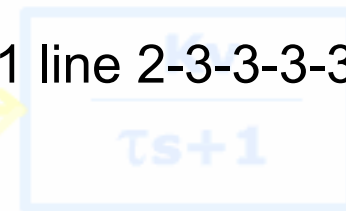
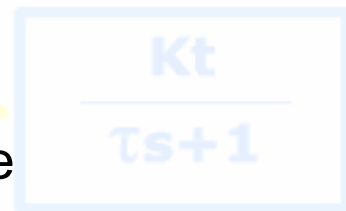
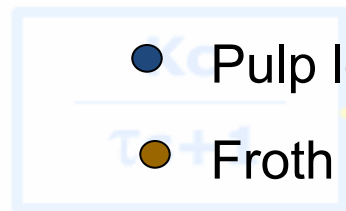
0.7 MMDTPY of concentrate

● Pulp level

1 line 2-3-3-3-3 array

● Froth image

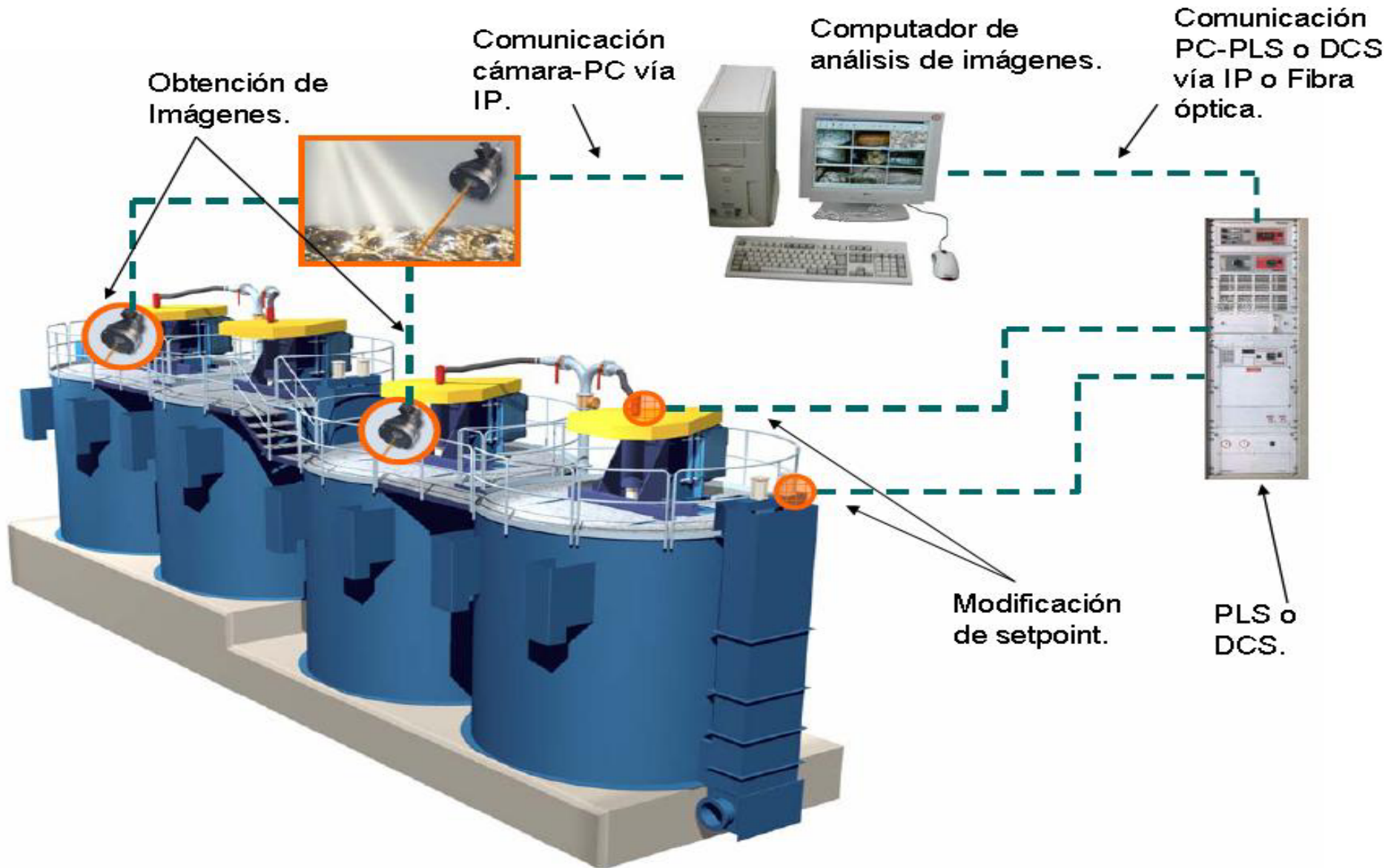
y_{sp}

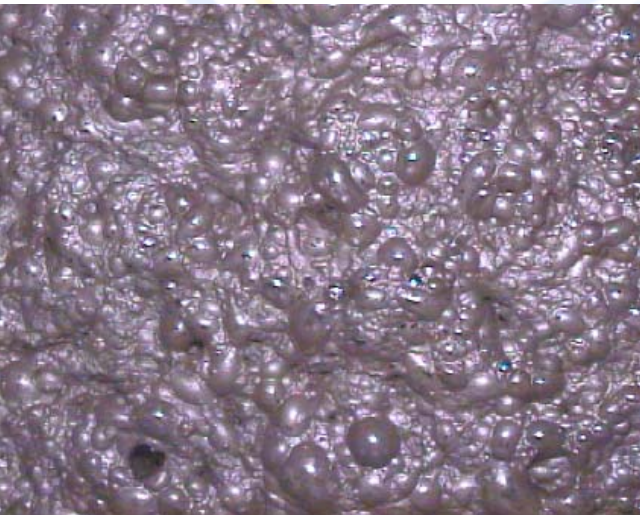




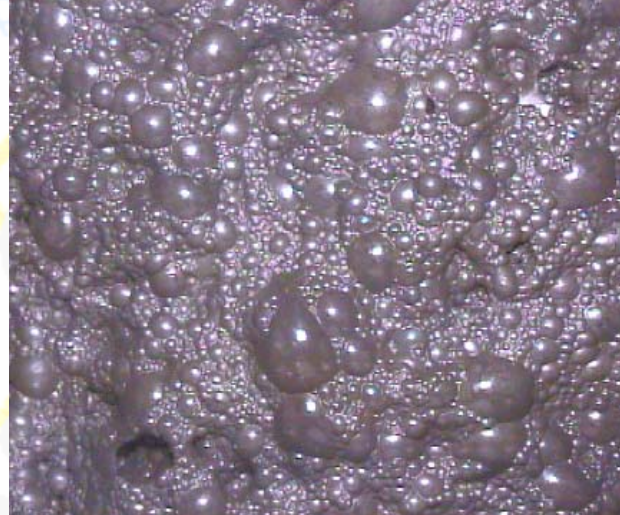
UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA







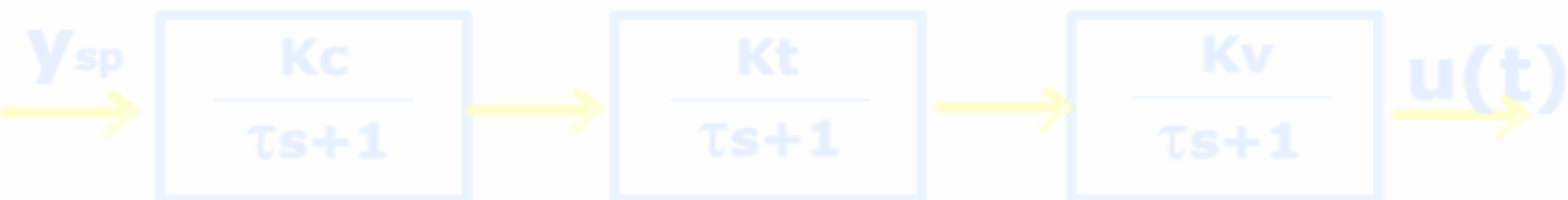
Espuma Dura.



Espuma Mojada.



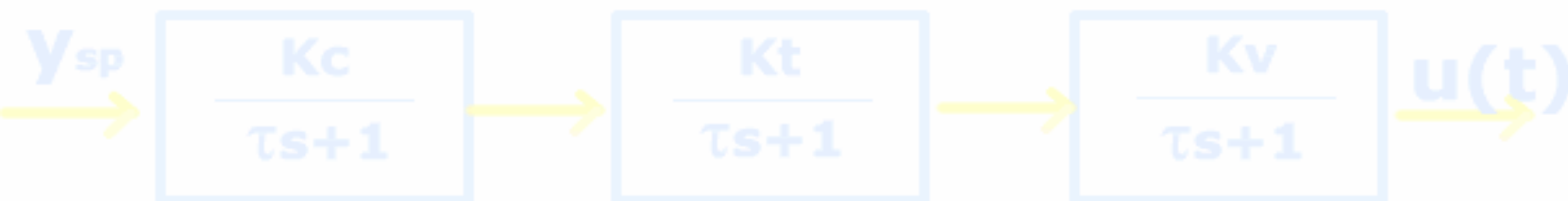
Espuma Seca.





Froth characteristics: correlation with concentrate grade and recovery

- bubble diameter distribution,
- the percentage of different classes of bubble diameter,
- the mineral charge on the bubble (as the proportional area of the bubble covered by mineral),
- the RGB color, HSV color, Lab color,
- tint, brightness, luminescence,
- dispersion, collapse ratio, texture, image stability,
- x velocity, y velocity, velocity module.





Froth characteristics: correlation with concentrate grade and recovery

- Past research with no concrete results
- Today more than 1000 cameras installed in Chile
- Main benefit has been to associate velocity and pulp level control set point

¿Qué falta?





Hypothesis:

Froth images are from top of froth

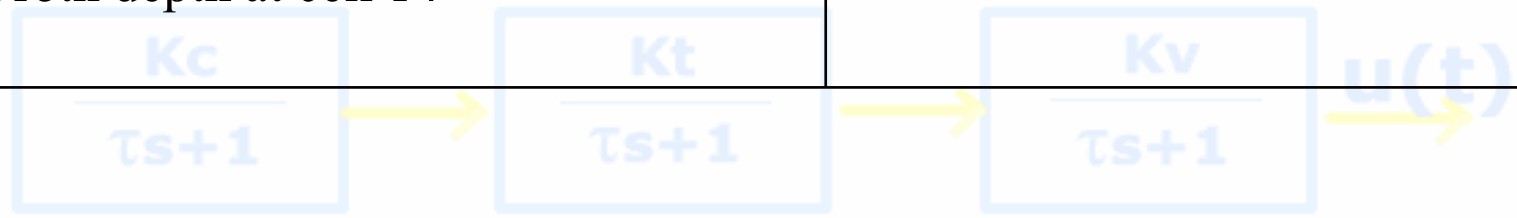
In the froth there is a distribution of properties (grade, solid percentage, particle size,...) that is influenced by operating variables (flow rates, froth depth, reactive dosages, feed characteristics, ...)

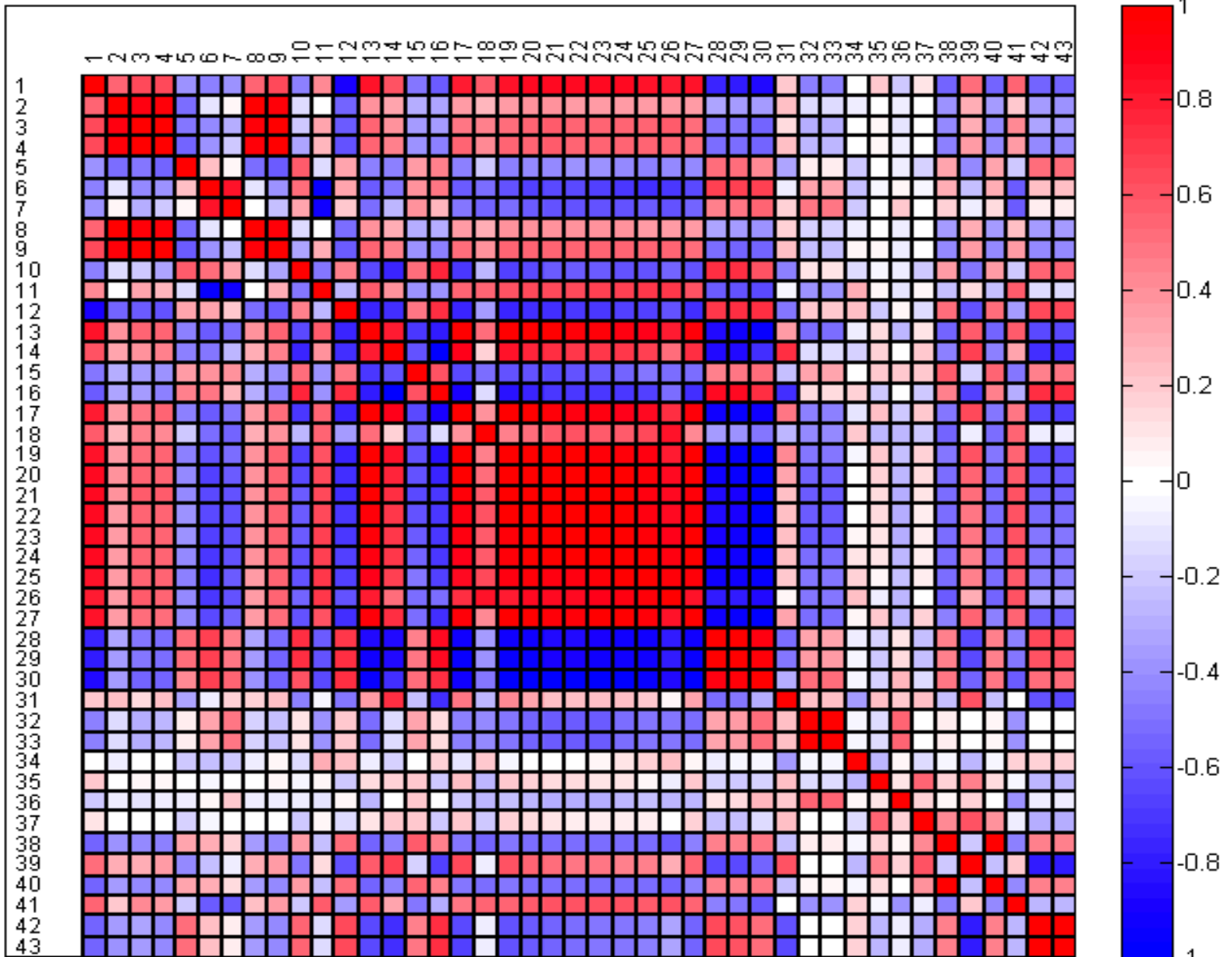
Correlation between ALL VARIABLES





Operating Variables	
Primary collector flow rate	Rougher feed copper grade
Secondary collector flow rate (cell 1)	Concentrate copper grade
Secondary collector flow rate (cell 6)	Tailings copper grade
Cell 1 frother flow rate	Copper rougher recovery
Cell 5 frother flow rate	Rougher feed iron grade
Froth depth at cell 2	Mineral density
Froth depth at cell 5	Rougher feed solid tonnage
Froth depth at cell 8	Total water flow rate
Froth depth at cell 11	Rougher feed solid percentage
Froth depth at cell 14	





Escala entrega el valor de R para cada par de variables



89% of variance

Variable	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7
Brillantez Medida en la Celda 1	0,185	-0,007	-0,070	-0,068	-0,078	0,110	0,263
Color Azul Medida en la Celda 1	0,105	0,126	-0,394	-0,147	0,050	-0,021	-0,056
Color Rojo Medida en la Celda 1	0,139	0,016	-0,334	-0,139	0,149	0,108	-0,139
Color Verde Medida en la Celda 1	0,142	0,065	-0,332	-0,119	0,136	0,025	-0,122
Perfil HSV Medida en la Celda 1	-0,111	-0,134	0,123	-0,046	-0,215	0,452	-0,104
Pureza (HSV) Medida en la Celda 1	-0,142	0,153	-0,099	-0,076	-0,330	-0,213	0,233
Tinte (HSV) Medida en la Celda 1	-0,114	0,256	-0,124	-0,004	-0,209	-0,230	0,271
Value (HSV) Medida en la Celda 1	0,107	0,104	-0,397	-0,157	0,055	-0,009	-0,060
Luminiscencia (LAB Color) Medida en la Celda 1	0,141	0,065	-0,330	-0,104	0,171	0,001	-0,118
Parámetro AX (LAB Color) Medida en la Celda 1	-0,141	-0,096	-0,144	-0,166	-0,185	0,304	0,083
Parámetro BX (LAB Color) Medida en la Celda 1	0,132	-0,217	0,141	0,060	0,298	0,192	-0,221
Carga de Burbujas Medida en la Celda 1	-0,167	-0,134	0,045	0,022	0,142	-0,177	-0,080
Textura de Burbujas Medida en la Celda 1	0,203	-0,010	0,051	-0,010	-0,121	-0,042	-0,041
Módulo de Velocidad de Espuma Medida en la Celda 1	0,170	0,175	0,119	0,092	-0,037	-0,079	-0,227
Velocidad de Espuma en Eje X Medida en la Celda 1	-0,135	0,034	0,044	-0,220	0,187	0,164	0,338
Velocidad de Espuma en Eje Y Medida en la Celda 1	-0,169	-0,180	-0,122	-0,089	0,034	0,077	0,228
D10 de Burrbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,200	0,046	0,096	-0,025	-0,091	-0,046	-0,070
D20 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,116	-0,242	-0,135	0,134	0,013	0,108	0,126
D30 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,204	0,005	0,083	-0,034	-0,069	-0,027	-0,015
D40 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,205	-0,037	0,065	-0,031	-0,051	-0,009	0,027
D50 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,203	-0,069	0,045	-0,035	-0,070	0,005	0,041
D60 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,201	-0,082	0,040	-0,038	-0,079	0,004	0,051

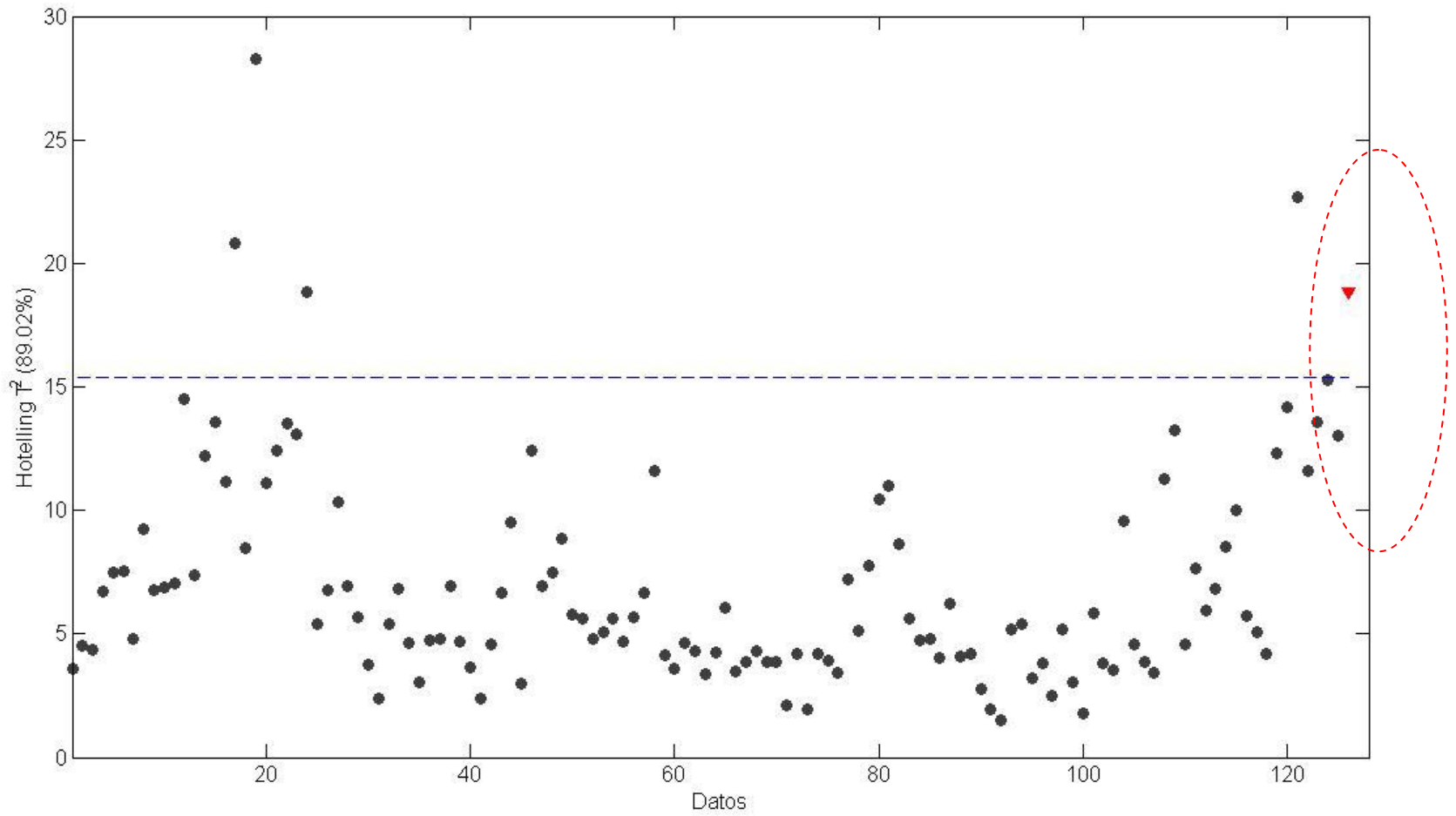


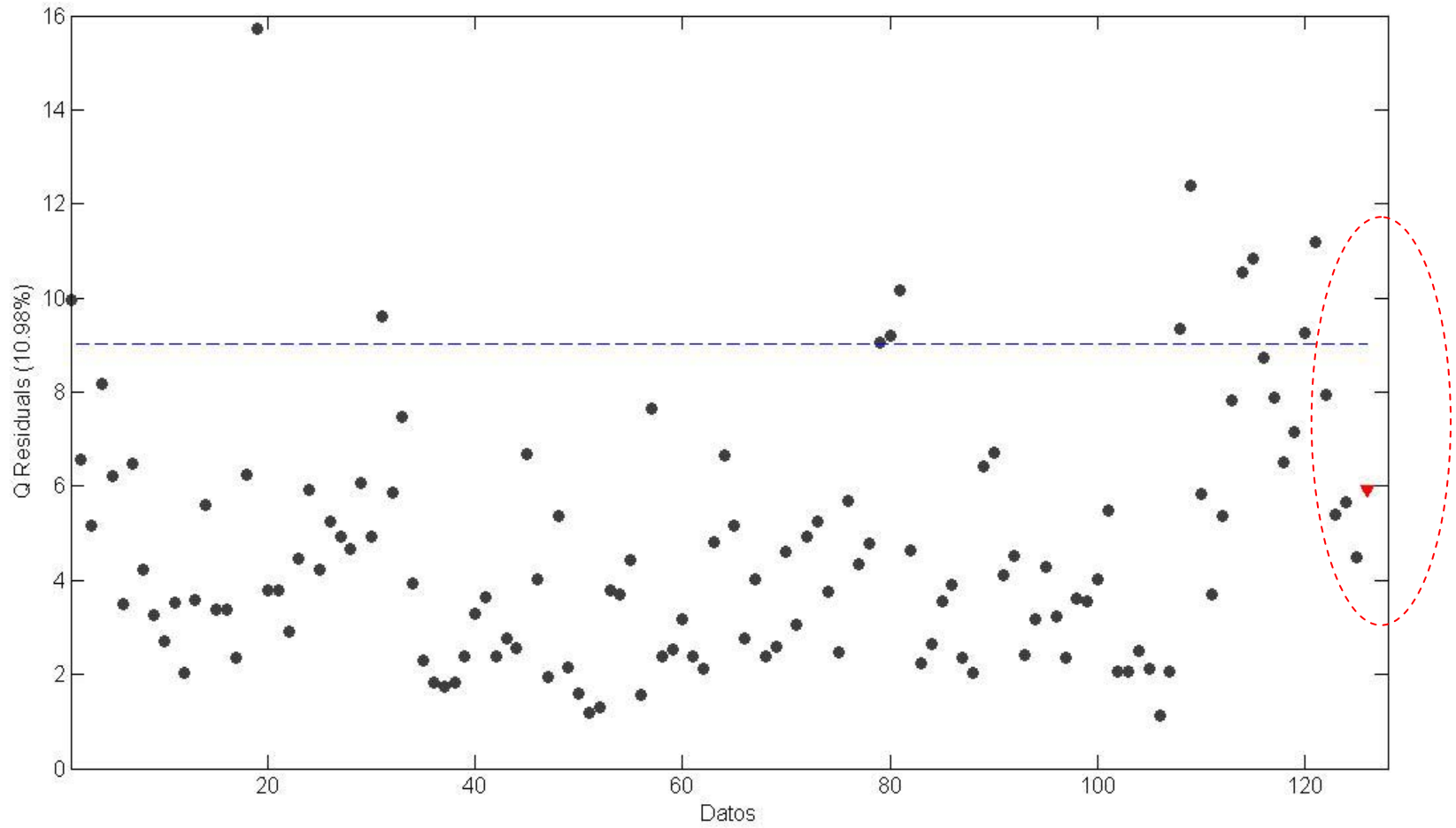
Variable	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7
D70 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,202	-0,085	0,044	-0,028	-0,047	-0,005	0,080
D80 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,201	-0,084	0,044	-0,008	0,008	-0,017	0,117
D90 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,197	-0,089	0,034	0,019	0,066	-0,023	0,158
D100 de Burbujas Medida en la Celda 1 [mm]	0,182	-0,153	-0,028	0,072	0,080	0,022	0,180
Diámetro de 25 [mm] de Burbujas Medida en la Celda 1 [%]	0,200	-0,030	0,085	-0,062	-0,018	-0,034	0,088
Diámetro de 2 [mm] de Burbujas Medida en la Celda 1 [%]	-0,194	-0,054	-0,108	-0,016	-0,093	0,080	-0,042
Diámetro de 5 [mm] de Burbujas Medida en la Celda 1 [%]	-0,198	-0,038	-0,105	0,004	-0,056	0,068	-0,047
Diámetro de 8 [mm] de Burbujas Medida en la Celda 1 [%]	-0,201	0,048	-0,065	0,045	0,010	0,020	-0,110
Ley de Alimentación [% Cu]	0,079	0,324	0,102	0,070	-0,059	-0,008	-0,250
Flujo Total de Colector Primario [gr/T]	-0,099	0,248	-0,012	0,292	0,195	0,183	0,043
Flujo Total de Colector Secundario [gr/T]	-0,099	0,248	-0,012	0,292	0,195	0,183	0,043
Flujo Total de Espumante [gr/T]	0,004	-0,174	-0,031	0,173	0,372	-0,347	0,329
Ley de Concentrado Rougher [% Cu]	0,003	0,141	0,160	-0,352	0,011	0,309	0,151
Ley de Colas Rougher [% Cu]	-0,044	0,206	0,039	0,156	0,354	0,207	0,125
Flujo de Alimentación [Ton/Hr]	0,026	0,170	0,205	-0,346	0,240	0,013	0,149
% de Sólidos que Entra al Circuito Rougher desde el Molino de Bolas 2	-0,123	-0,013	0,162	-0,364	0,178	-0,179	-0,170
% +100# que Entra al Circuito Rougher desde el Molino de Bolas 2	0,122	0,269	0,129	-0,126	0,051	0,113	0,147
Densidad de Pulpa que Entra al Circuito Rougher desde el Molino de Bolas 2	-0,122	-0,023	0,155	-0,362	0,170	-0,187	-0,187
% +100# que Entra al Circuito Rougher desde el Molino de Bolas 3	0,127	-0,166	-0,030	0,058	-0,037	0,186	-0,050
% de Hierro en el Mineral Alimentado	-0,135	-0,266	-0,044	-0,065	0,056	-0,018	-0,055
Densidad del Mineral Alimentado	-0,135	-0,268	-0,041	-0,066	0,055	-0,027	-0,046

Ts+1

Ts+1

Ts+1



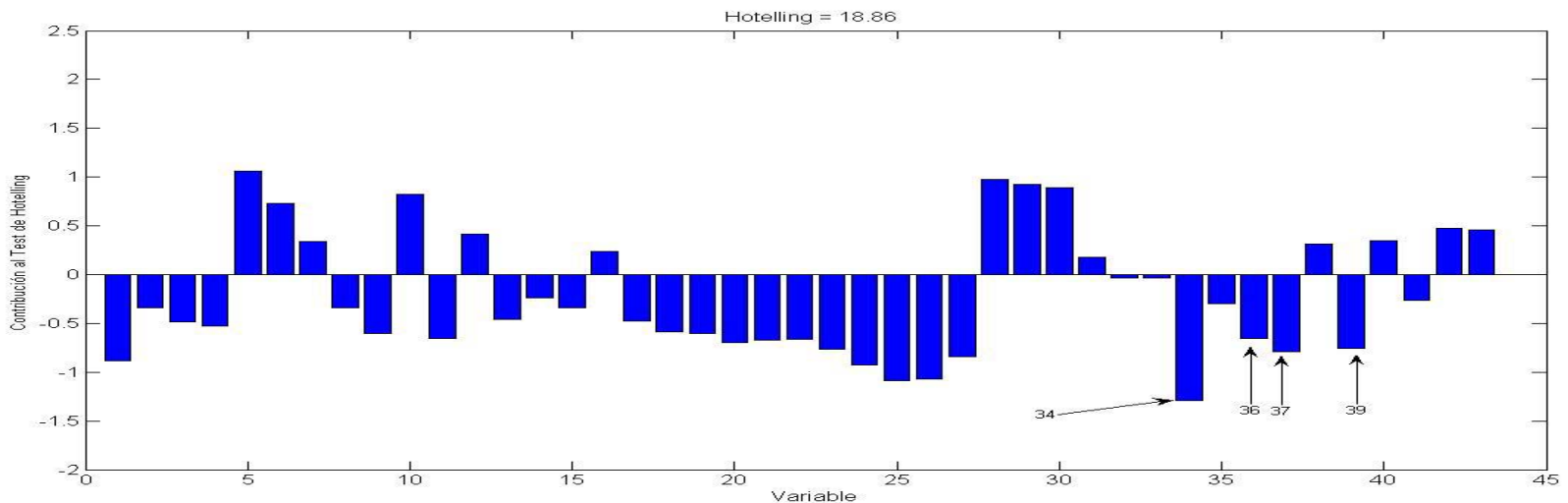




Problem unusual increment of tailings grade

Contributions come from frother flow rate, feed flow rate and the feed solid particle size

After this diagnosis, the operator has been guided to increment the frother flow rate or to decrease the feed flow rate or to reduce the particle size. Considering the actual constraints put by the grinding process, he may be able to just increment the frother dosage.





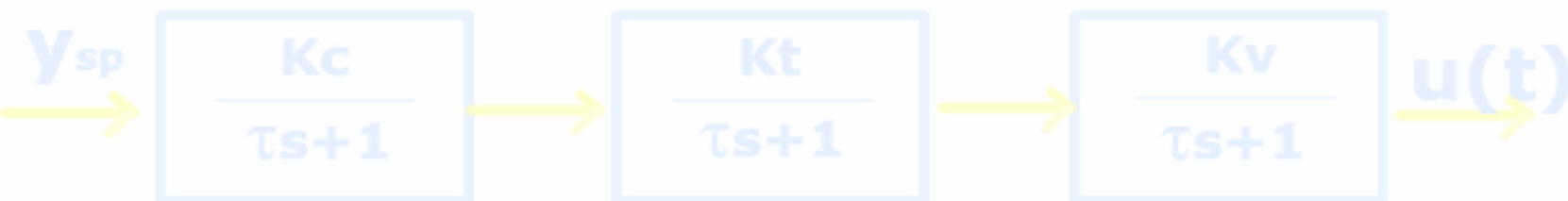
CONCLUSIONS ...

- Flotation control quality is strongly depending on the accuracy of measurements and estimations.
- The flotation process is complex and it is a real challenge to decide which variables are to be changed in order to drive back the process to a normal operation.
- Correlation of isolated sets of variables have not proved to lead to significant benefits. Top of froth characteristics must be combined with operating variables, leading to a high dimensional problem to solve.
- The application of multivariate statistical methods, and particularly PCA, is a powerful tool to build linear models containing the essentials of the process phenomena with the minimum number of latent variables.



... CONCLUSIONS

- The application of PCA models to monitoring flotation circuits has been demonstrated. There are two main applications of these PCA models.
 - Explaining the possible causes of an operating deviation from target
 - Detecting large measurement errors.
- These PCA models can be effectively used as part of a supervisory control strategy, especially when control decisions are infrequently made, that is the case when steady state PCA models are used.





UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

2009 IFAC Workshop on Automation in Mining, Mineral and Metal Processing October, Viña del Mar, Chile

