



# Ingeniería de Sistemas y Automática





# Ingeniería de Sistemas y Automática

---

**El Diccionario de la Real Academia Española define la Automática como:**

*“la disciplina que trata de los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la ejecución de una tarea física o mental previamente programada”.*

**Cuando esta sustitución tenga como objetivo el control de un sistema, de forma que este funcione de una manera autónoma hablaremos de sistemas de control automático. Los ingenios y dispositivos diseñados con este fin se denominarán de regulación y mando. La disciplina encargada de su diseño, análisis y aplicación se denomina Regulación Automática.**

**Cuando la sustitución tenga como objetivo el procesado automático de la información, entonces nos referiremos a la disciplina de la Informática.**



# Ingeniería de Sistemas y Automática

---

## *El concepto de realimentación.*

Hablar de control Automático implica hablar de realimentación. En palabras de Norbert Wiener “realimentación es un método de controlar un sistema reinsertando en él los resultados de su comportamiento anterior”.

La realimentación aparece como un mecanismo natural que permite la adaptación de un sistema a diversas situaciones en vista de alcanzar un cierto objetivo. Puede decirse que todos nosotros hemos hecho uso de este mecanismo aun sin conocer su formalización.

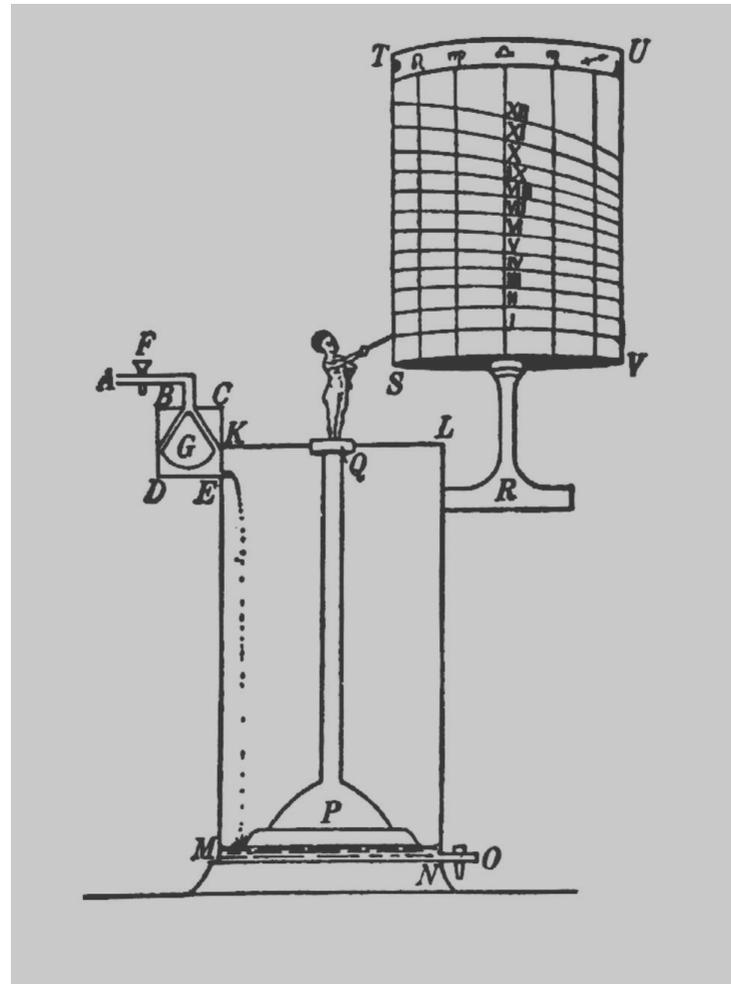


# Historia de la Ingeniería de Control

- Primeros ejemplos históricos de sistemas de control.
- La Revolución Industrial.
- El problema de la estabilidad.
- Control Clásico.
- Teoría Moderna de Control
- El computador en el control de procesos industriales.
- Autómatas en la historia.
- Automatismos industriales.



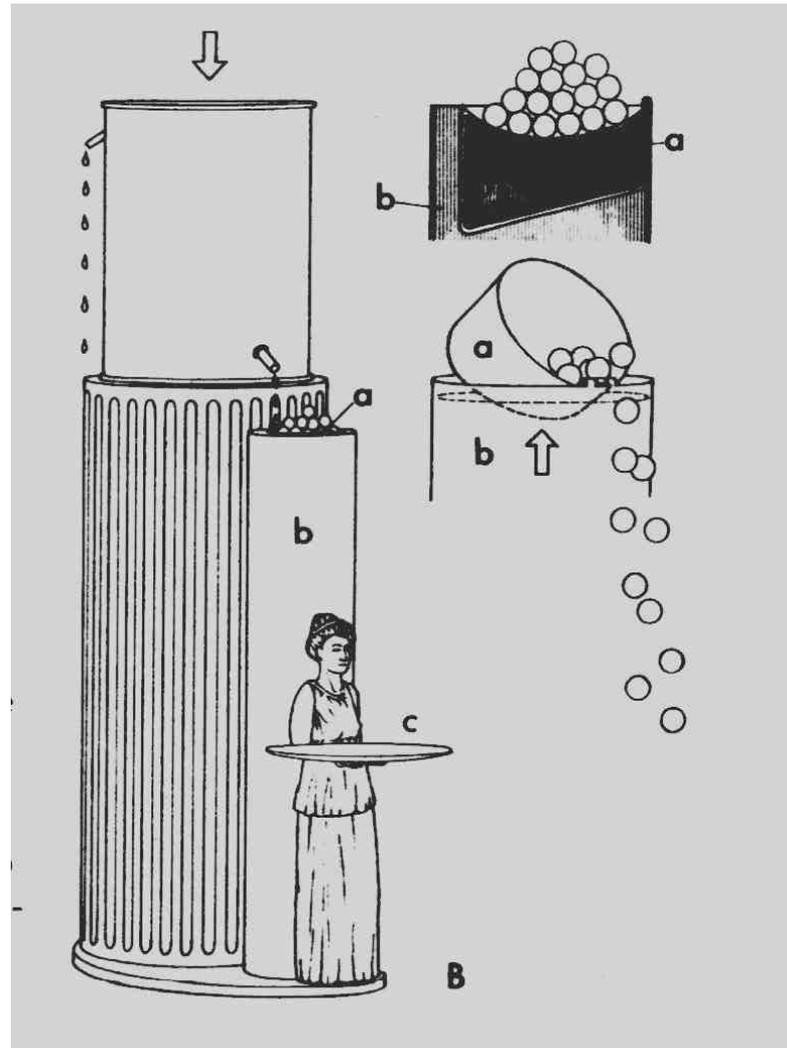
# Primeros ejemplos de sistemas de control



*Reloj de Agua de Ktesibios, reconstruido por H. Diels*



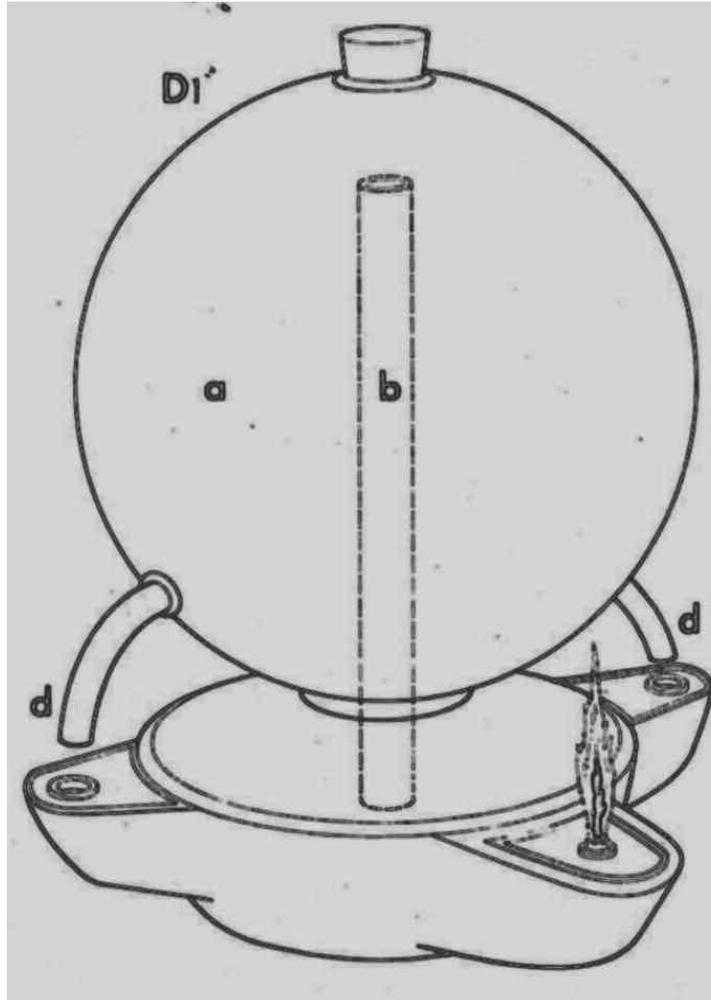
# Primeros ejemplos de sistemas de control



*Clepsydra alarma de Platon*



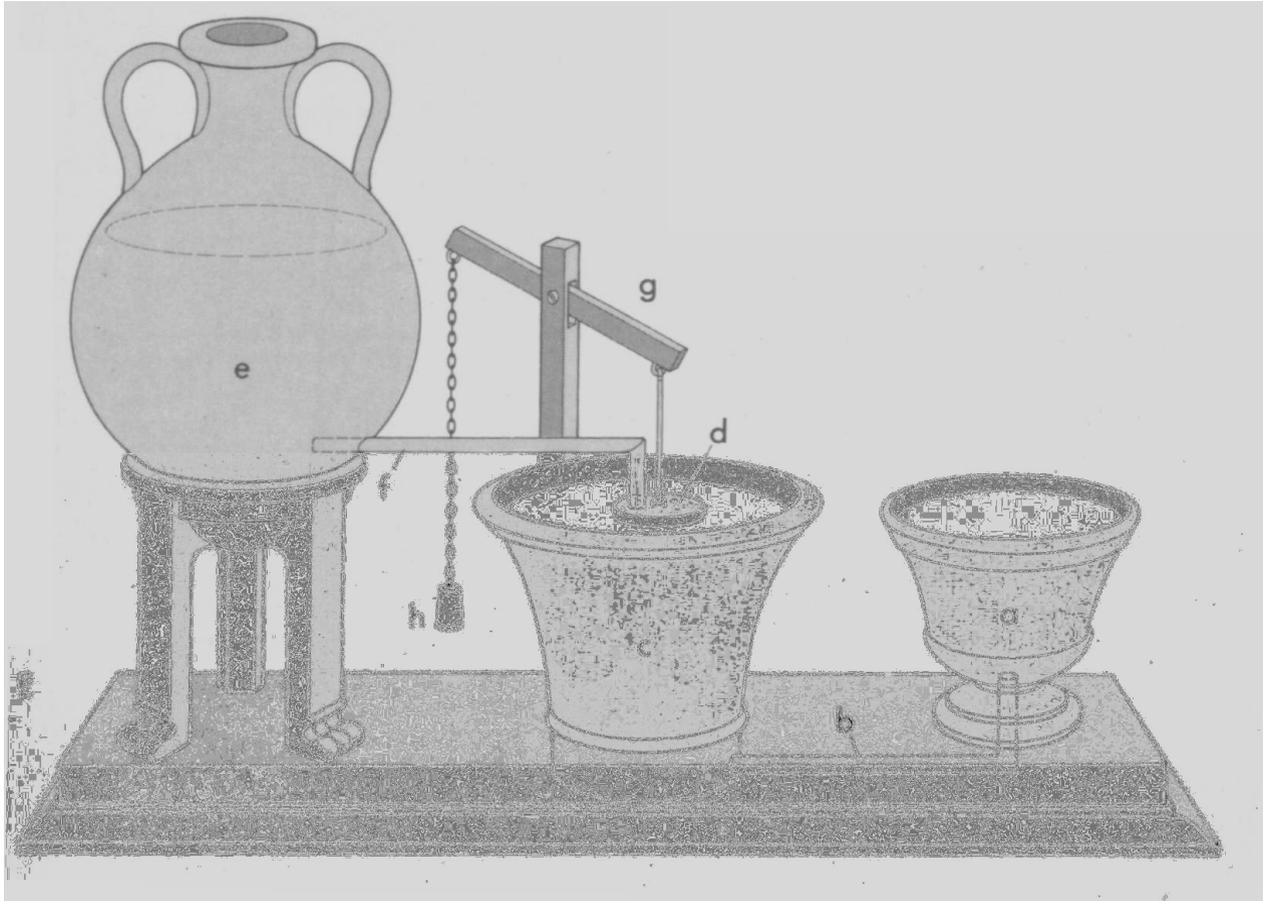
# Primeros ejemplos de sistemas de control



*Lampara de Philon*



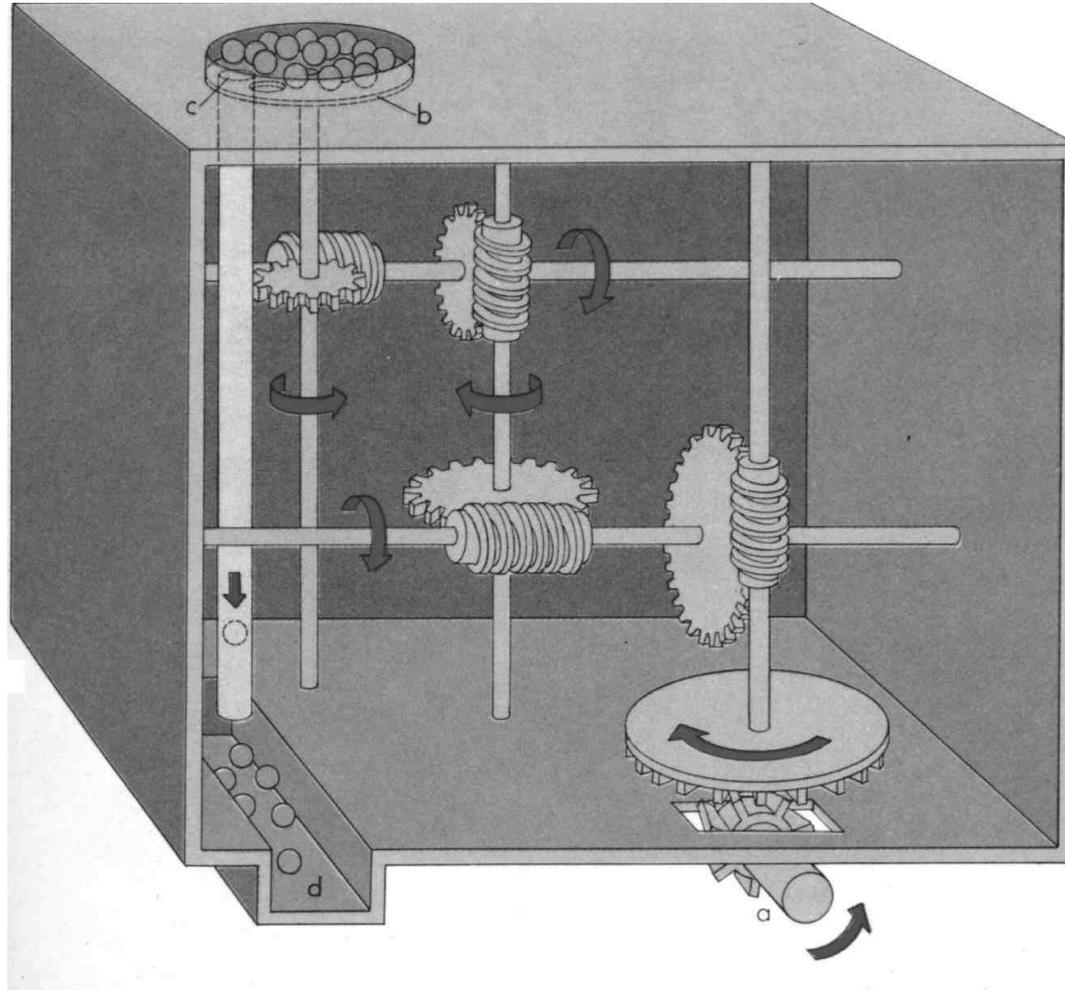
# Primeros ejemplos de sistemas de control



*Dispensador automático de vino*



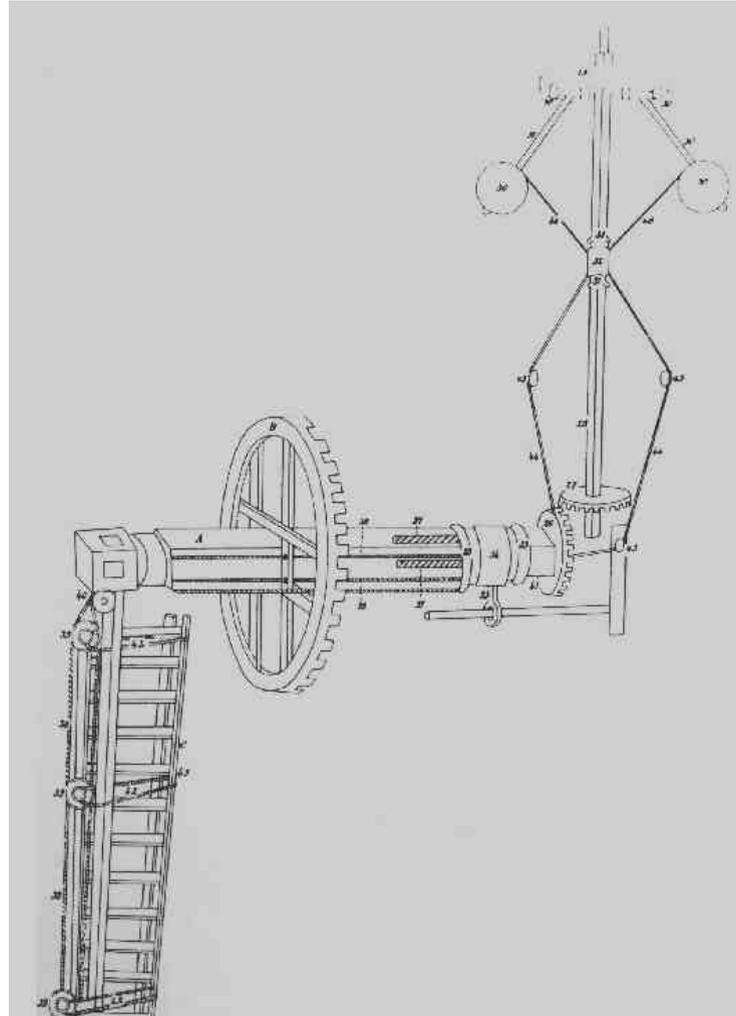
# Primeros ejemplos de sistemas de control



*Odómetro de Herón*



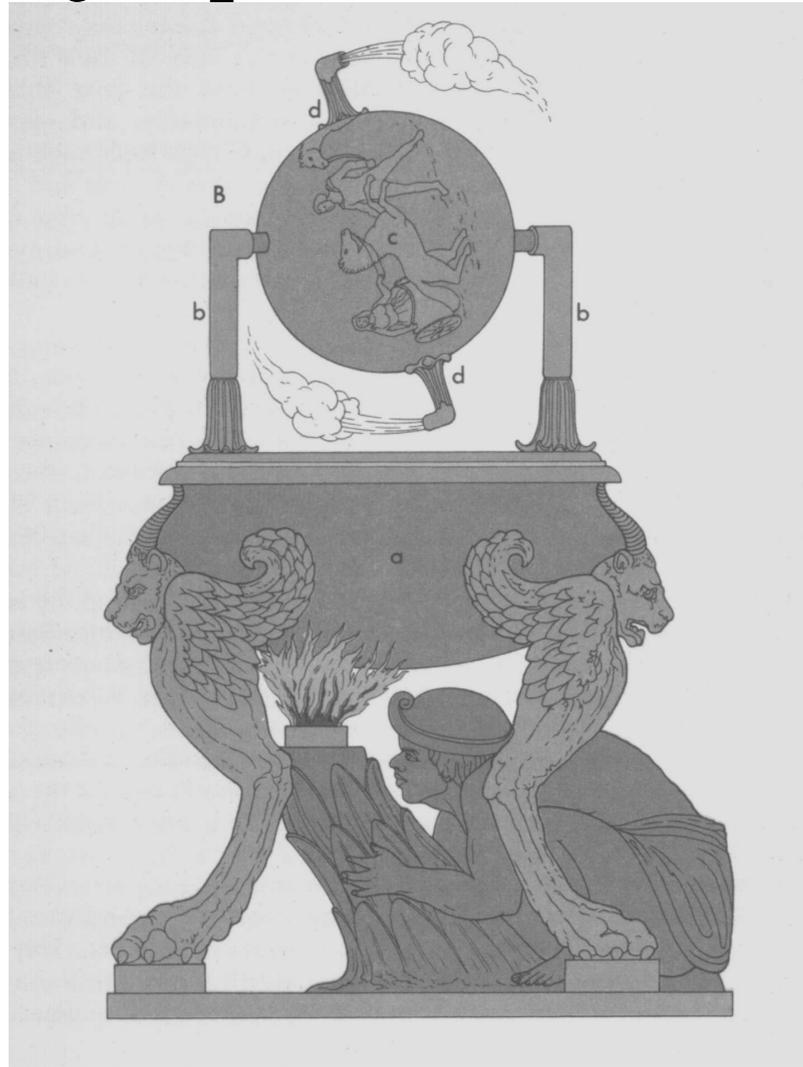
# Primeros ejemplos de sistemas de control



*Regulador de Mead para Molinos de Viento*



# Primeros ejemplos de sistemas de control

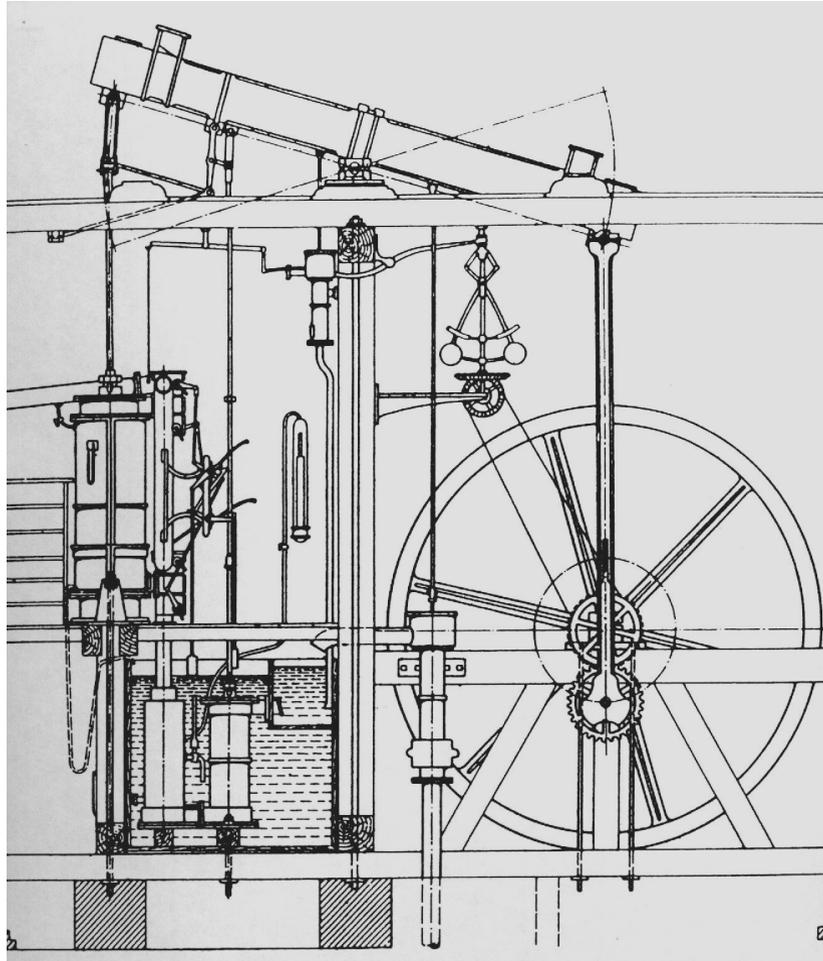


*Aelopila de Heron*





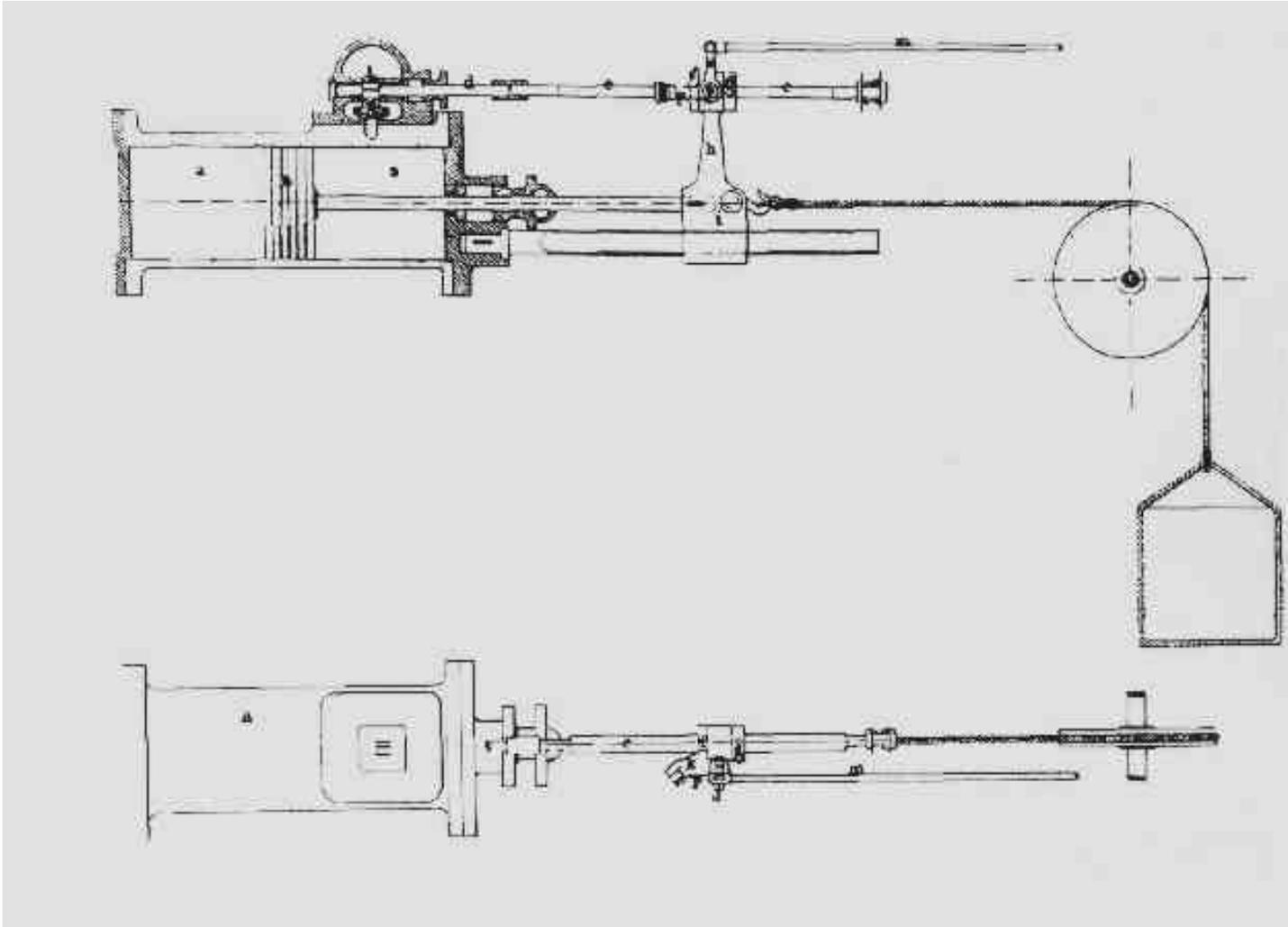
# La Revolución Industrial



*Máquina de Vapor con regulador de Watt*



# La Revolución Industrial



*Servomotor de Farkot (1873)*



# El problema de la estabilidad

Los primeros reguladores de Watt tenían un buen comportamiento debido al gran rozamiento existente entre sus miembros. A mediados del siglo XIX cambian las técnicas de diseño de las máquinas y se mejoran los procesos de fabricación, entonces se empezó a observar que la velocidad de las máquinas variaba cíclicamente con el tiempo, con comportamientos no muy estables. Este problema era bastante grave y atrajo a un gran número de importantes científicos e ingenieros.



# El problema de la estabilidad

El problema fue resuelto por Maxwell y por el ingeniero ruso Vischnegradsky. Este ingeniero publicó sus resultados [Vyschne 1876] en términos de una regla de diseño que relacionaba los parámetros de ingeniería del sistema con su estabilidad. El análisis de Vischnegradsky demostraba que los cambios de diseño de la máquina que habían tenido lugar desde la época de Watt, habían disminuido el rozamiento entre sus componentes y esto conllevaba inevitablemente el fenómeno de oscilaciones en la regulación de la velocidad. Vischnegradsky también demostró la incapacidad de un regulador proporcional para establecer un correcto comportamiento de un sistema de tercer orden.



# El problema de la estabilidad

El trabajo que presenta Maxwell en 1868: “On Governors” [Thaler 74], puede considerarse como el origen de la Teoría de Control. En él presenta su criterio de estabilidad para sistemas lineales dinámicos e invariantes. En este trabajo Maxwell establece una diferenciación entre *Regulators* ó *Moderators* (los conocidos actualmente como reguladores proporcionales) y *Governors* (reguladores con acción integral)

La contribución importante de Maxwell estuvo en demostrar que el comportamiento de un sistema de control automático en la vecindad de una posición de equilibrio se podía aproximar por una ecuación diferencial lineal y por lo tanto la estabilidad se podía así discutir en términos de las raíces de la ecuación algebraica asociada.



# El problema de la estabilidad

Maxwell plantea de esta forma el problema general de estudiar la estabilidad de un sistema dinámico en función de la localización de las raíces de su ecuación característica. Hermite había publicado un trabajo sobre el mismo problema unos años antes pero no era muy conocido.

Routh resuelve este problema en 1877 en su trabajo “ A treatise on the stability of a given state of motion”, con el que obtiene el premio Adams. En este trabajo presenta por primera vez su conocido criterio de estabilidad.

Para Routh esto representó la finalización de una notable rivalidad que había mantenido con Maxwell durante años; habían sido condiscípulos en Cambridge y Routh había relegado a Maxwell del primer puesto en el examen final. J.G. Truxal en su libro “Introductory system engineering” describe que al comenzar Routh la exposición de su trabajo en el Premio Adams lo hizo con estas palabras: “Ha venido recientemente a mi atención que mi buen amigo James Clerk Maxwell ha tenido dificultades con un problema relativamente trivial...”. Lo que no le faltaba a Routh era ironía en sus palabras.



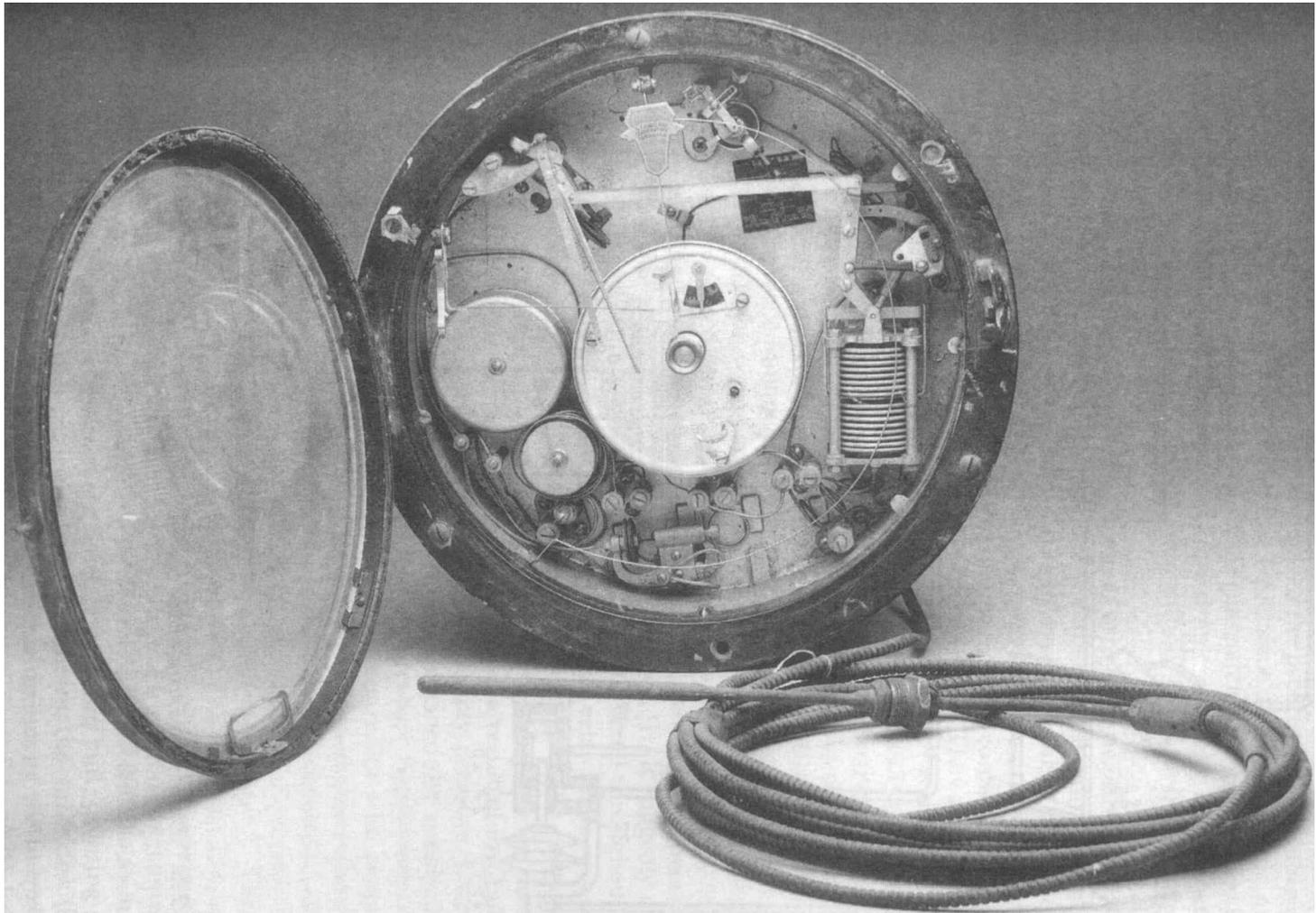
# El problema de la estabilidad



*Harry Nyquist*



# Reguladores



*Foxboro Stabilog*



# Avances durante la Segunda Guerra Mundial

## *Problema de control de tiro*

- a) Detección y seguimiento del blanco.
- b) Predicción.
- c) Colocación del cañón en posición de disparo.

Con el objetivo fundamental de investigar y avanzar en los problemas de control del radar y de control de tiro, en marzo de 1942, de una manera informal se constituyó un grupo que posteriormente sería denominado el “Servo-Panel”. Su principal función consistió en organizar encuentros, proporcionar información y servir de nexo de comunicación entre diferentes grupos de investigación.



# Albores de la era espacial

Las mayores contribuciones al campo de la navegación espacial que posibilitaron que el hombre llegara a la luna en 1969 se realizaron en la base alemana de Peenemünde situada en la isla de Usedom del mar Báltico. La base fue construida entre 1936 y 1940. Las investigaciones y desarrollos realizados ahí constituyen uno de los capítulos más excitantes de la historia de la ciencia y la técnica.

Las primeras unidades desarrolladas para el ejército alemán, las denominadas A1 y A2, fueron destinadas principalmente al ensayo de sistemas de propulsión y control de cohetes. Una vez se dispuso de unidades en funcionamiento, enseguida se observó que el principal problema a solucionar era mantener el sistema estable.



# Albores de la era espacial

Para el desarrollo del tercer ingenio, la A3, la marina Alemana envió a un reconocido especialista en el problema de estabilización y alineamiento de las torretas de tiro, el clásico problema del control de la segunda guerra mundial. Sin embargo este ingenio no se terminó de construir dado que el mecanismo de control se revelo inadecuado. Después de lo cual se desarrolla un nuevo sistema de control bastante avanzado para la época. Este sistema utilizaba giróscopos y acelerómetros como elementos sensores y disponía de servomotores eléctricos que podían efectuar pequeños y precisos movimientos, contruidos en molibdeno, un material resistente a altas temperaturas, y encargados de controlar el suministro de gas a las turbinas del cohete.



# Albores de la era espacial

Esta concentración de esfuerzos en resolver los problemas de control y estabilidad condujo al desarrollo de la unidad A4, que Goebbels después denominaría V2–V de *Vergeltungswaffe* (*misil de justo castigo o pena merecida*).

Durante las últimas fases de la segunda guerra mundial en la base de Peenemünde se llegaron a realizar proyectos sobre misiles transatlánticos (la unidad A6)...Incluso la Gestapo llegó a arrestar a Wernher von Braun por haber hablado abiertamente de la posibilidad de enviar objetos al espacio. Fue liberado gracias a la mediación del director de la base de Peenemünde, que explicó a altos oficiales de la Gestapo que las ideas de von Braun contribuían a la creación de nuevos y más potentes *misiles de justo castigo*.



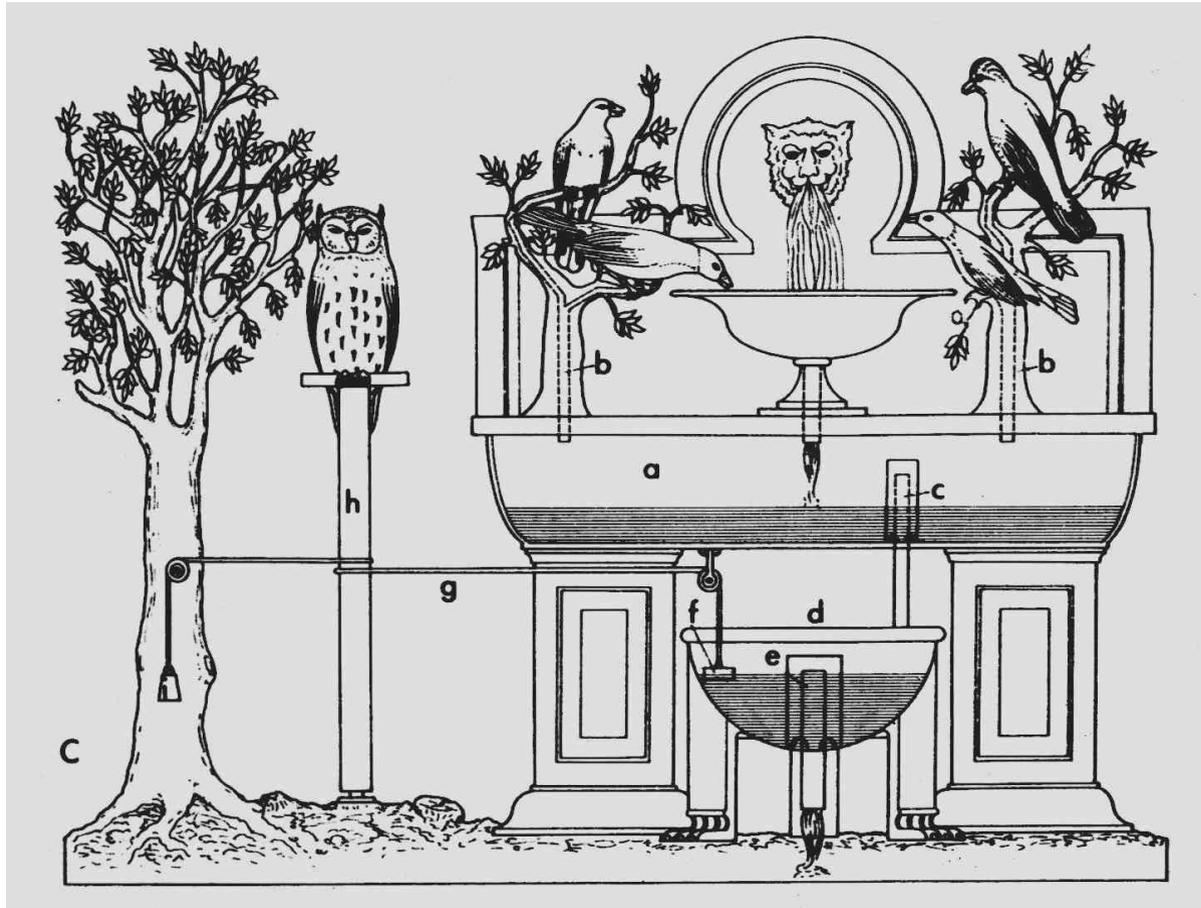
# Albores de la era espacial

Cuando Alemania esta ya prácticamente derrotada, en mayo de 1945, la base de Peenemünde junto con todo su arsenal de cohetes cayó en manos de los aliados, y en Julio de ese mismo año trescientos vagones de tren cargados de cohetes A4 llegaron a una base de Nuevo Méjico. También se traslado allí todo el equipo científico alemán que continuó con su labor de investigación.





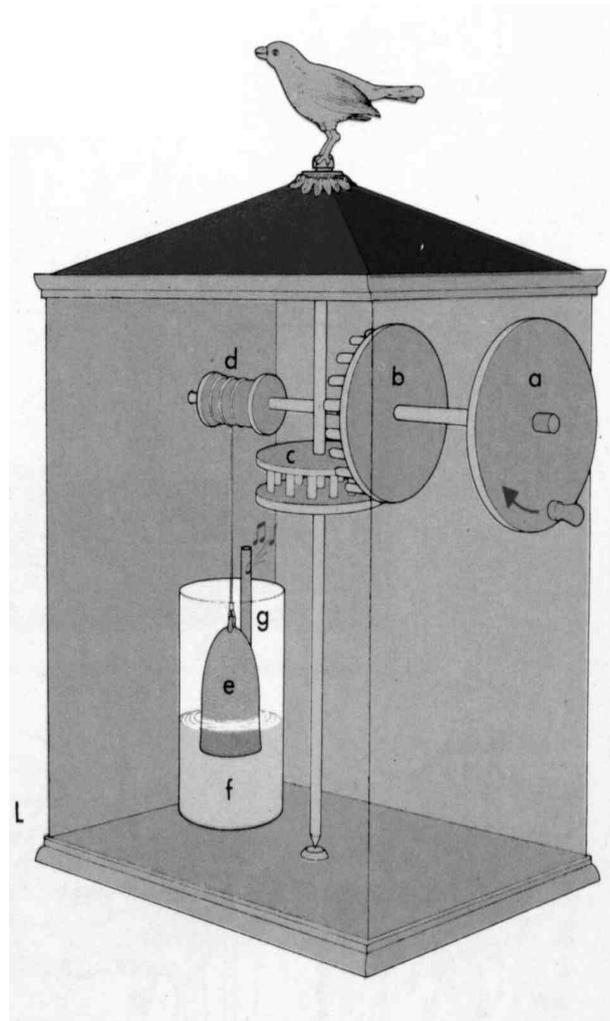
# Autómatas en la historia



*Pájaros de Herón*



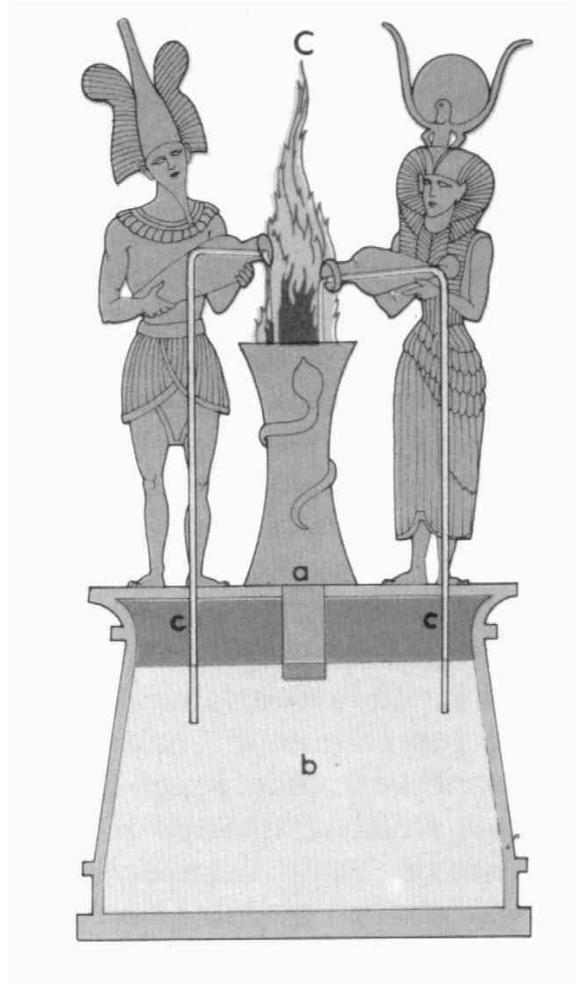
# Autómatas en la historia



*Caja Mágica de Heron*



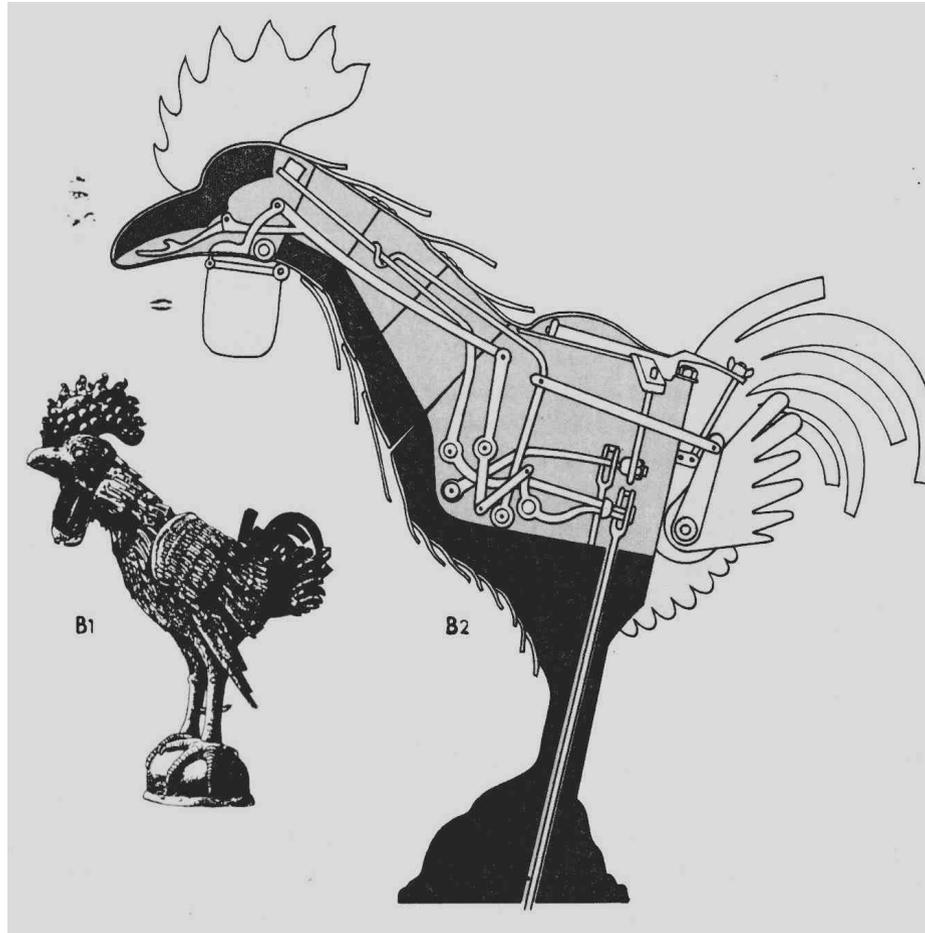
# Autómatas en la historia



*Altar mágico*



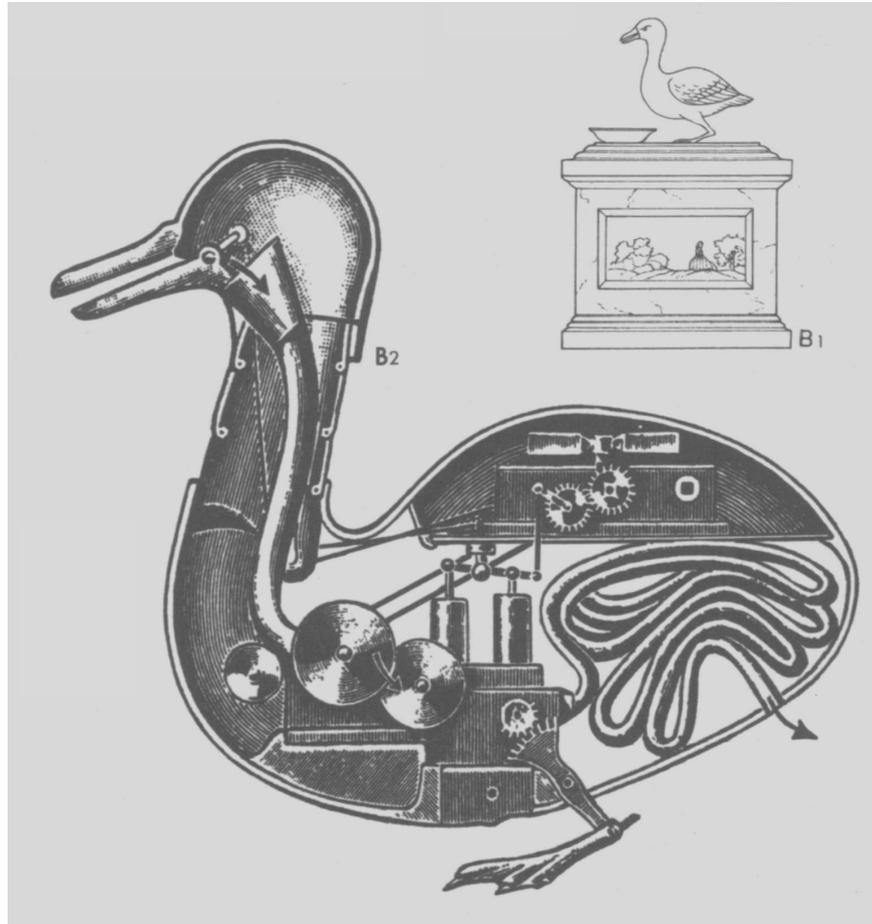
# Autómatas en la historia



*Gallo de Estrasburgo*



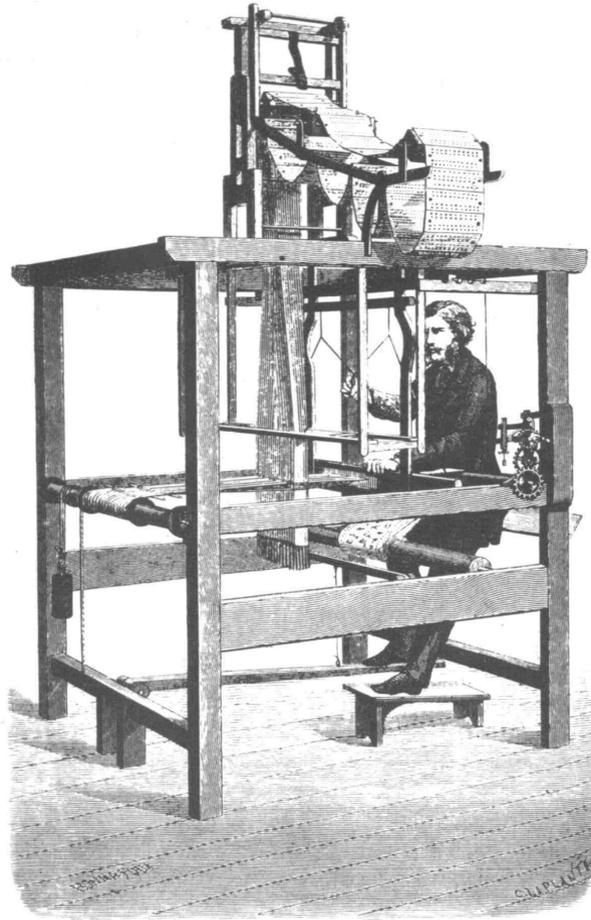
# Autómatas en la historia



*Pato de Vaucanson*



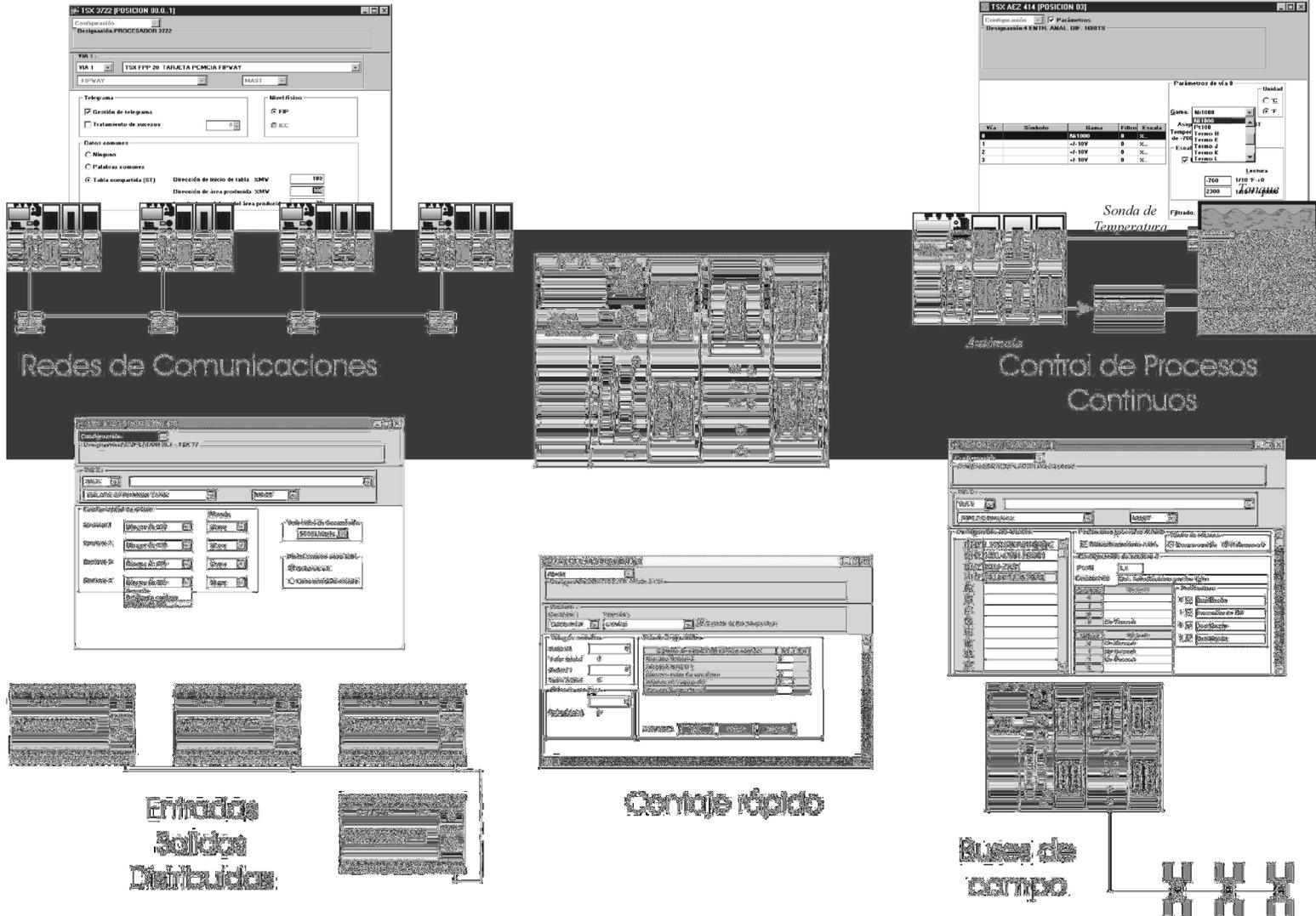
# Autómatas en la historia



*Telar de Jacquard*

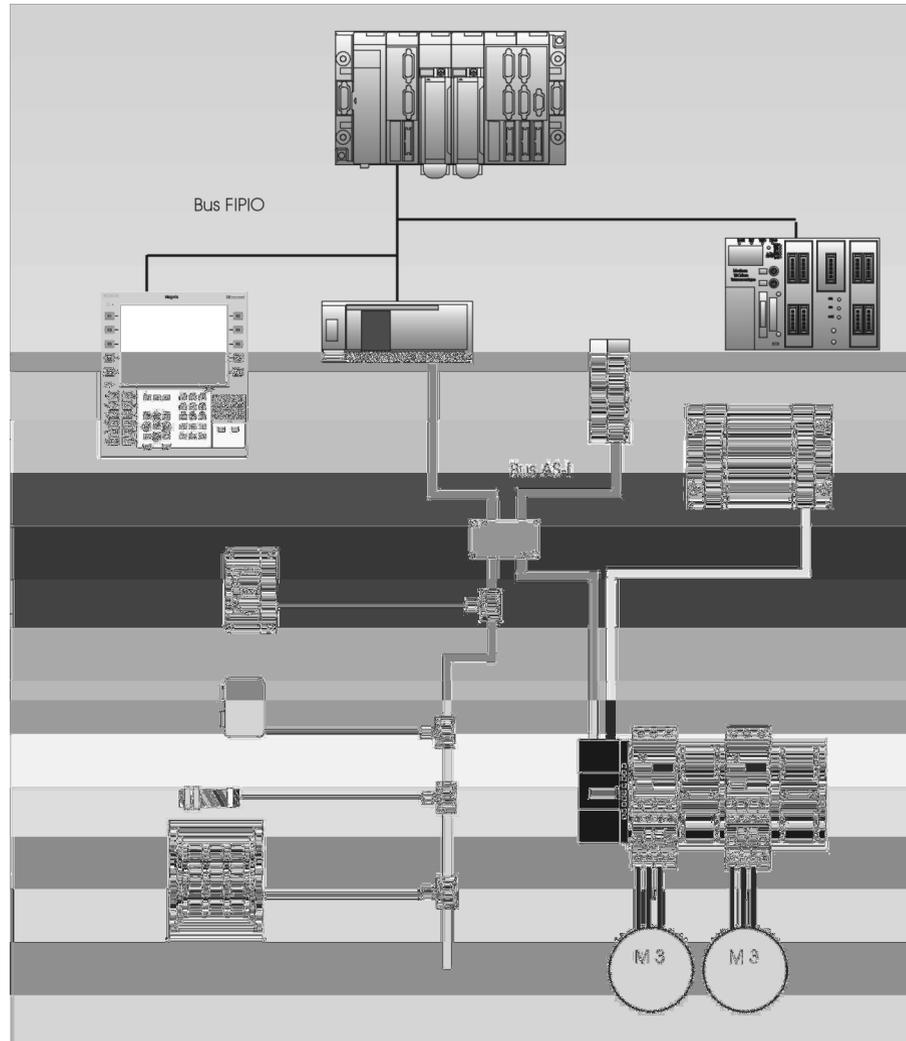


# Autómatas Programables

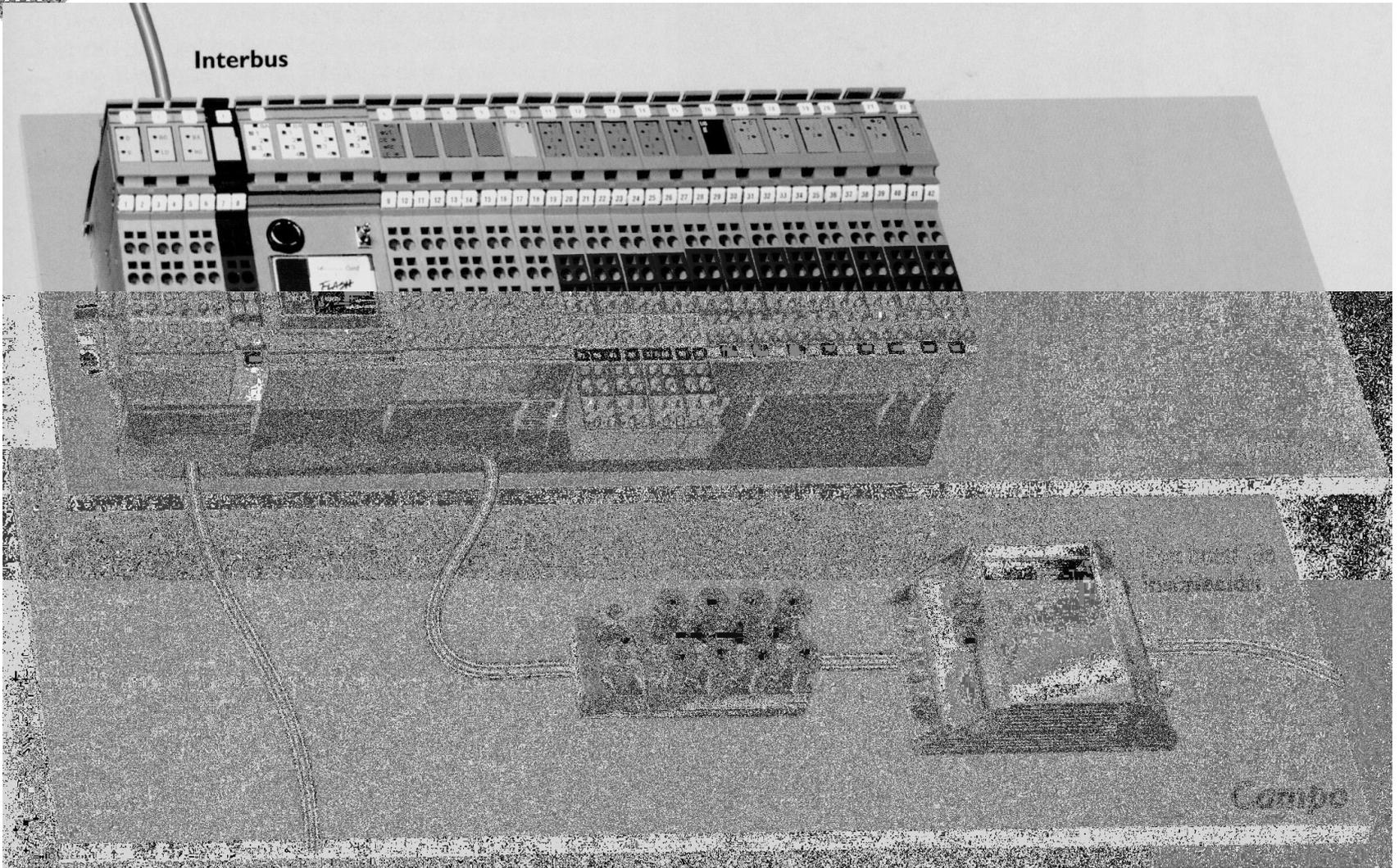




# Buses de campo

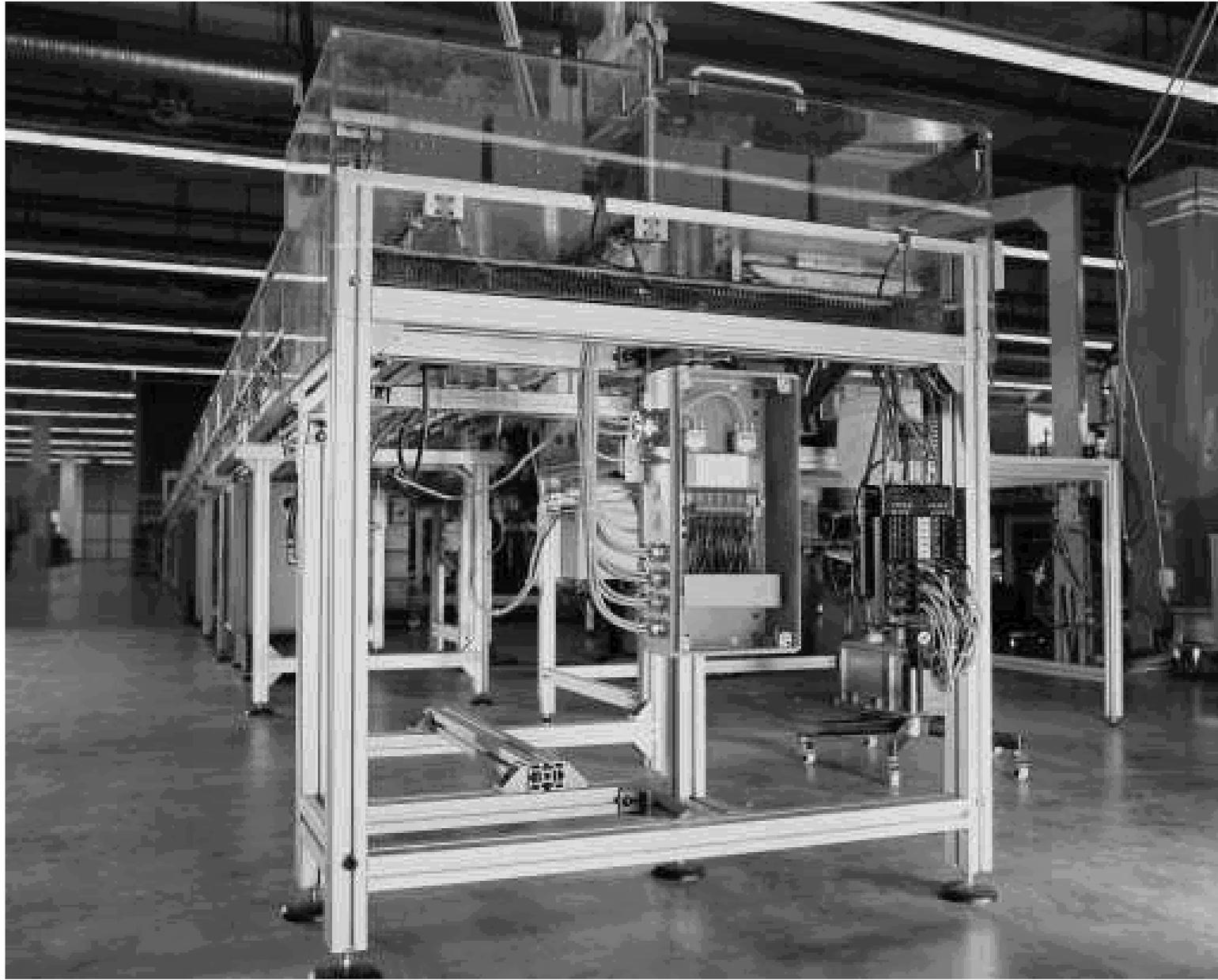


# Buses de campo





# Buses de campo



# Supervisión y Control vía Internet

# OPEL

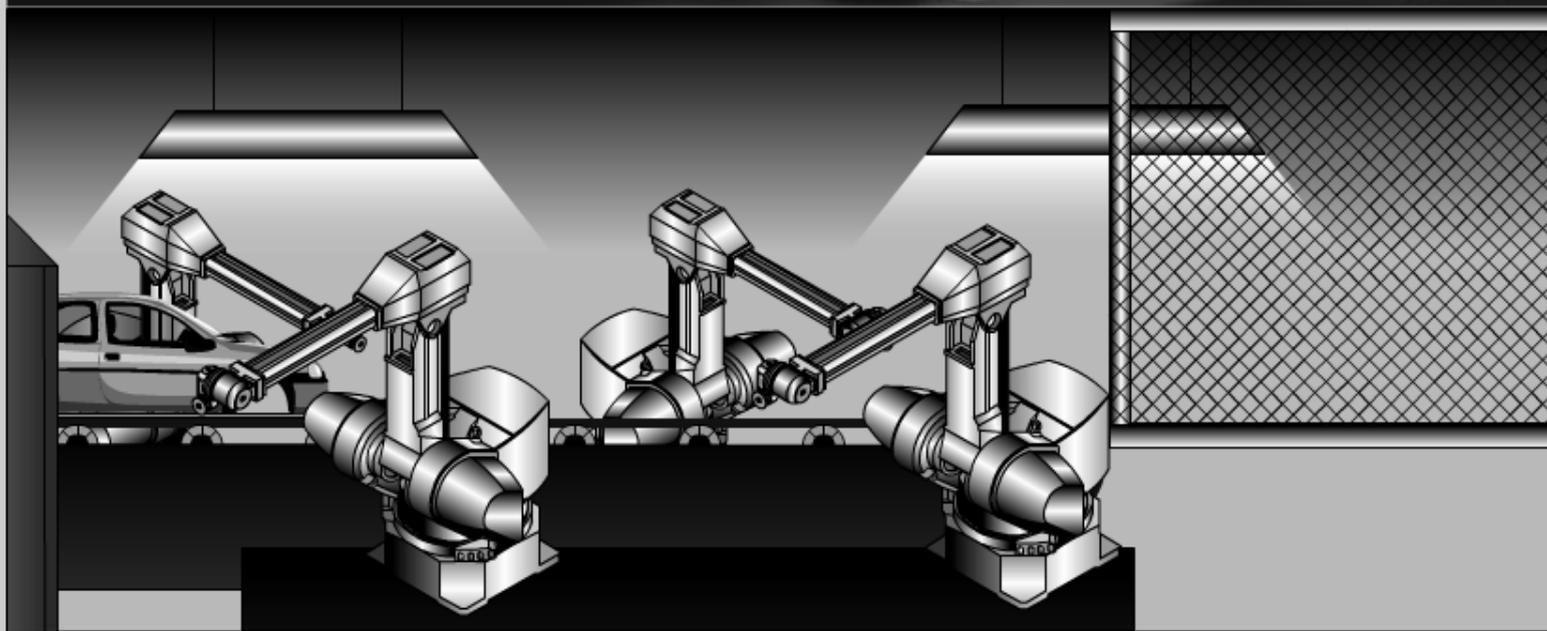
ALARMAS

NO HAY ALARMAS

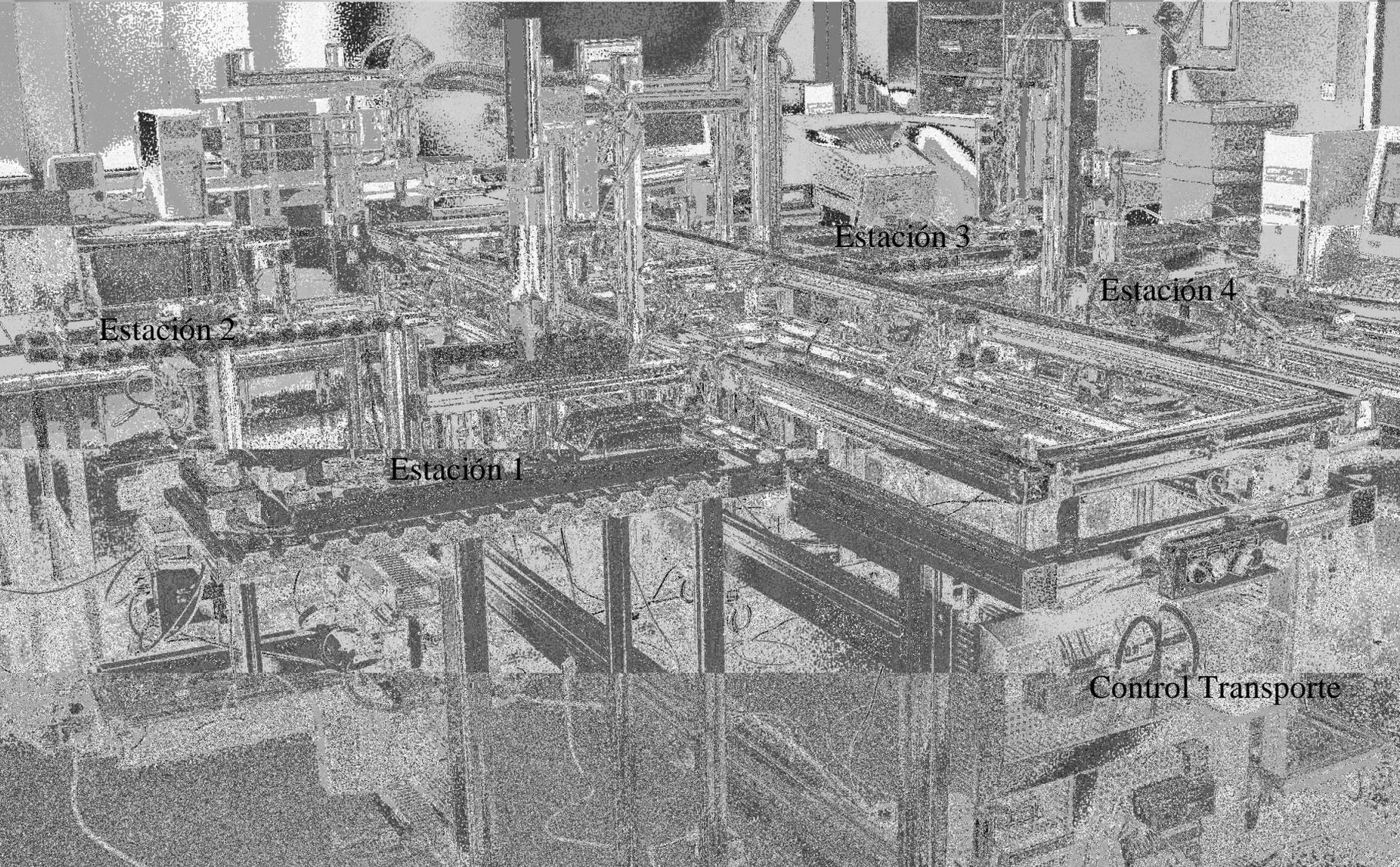
STATUS

CONECTANDO...

COLOR:  
 LINEA:  
 ROBOT1:  
 ROBOT2:  
 ROBOT3:  
 ROBOT4:  
 POS:  
 VARB:



# Célula de Fabricación Flexible



Estación 2

Estación 1

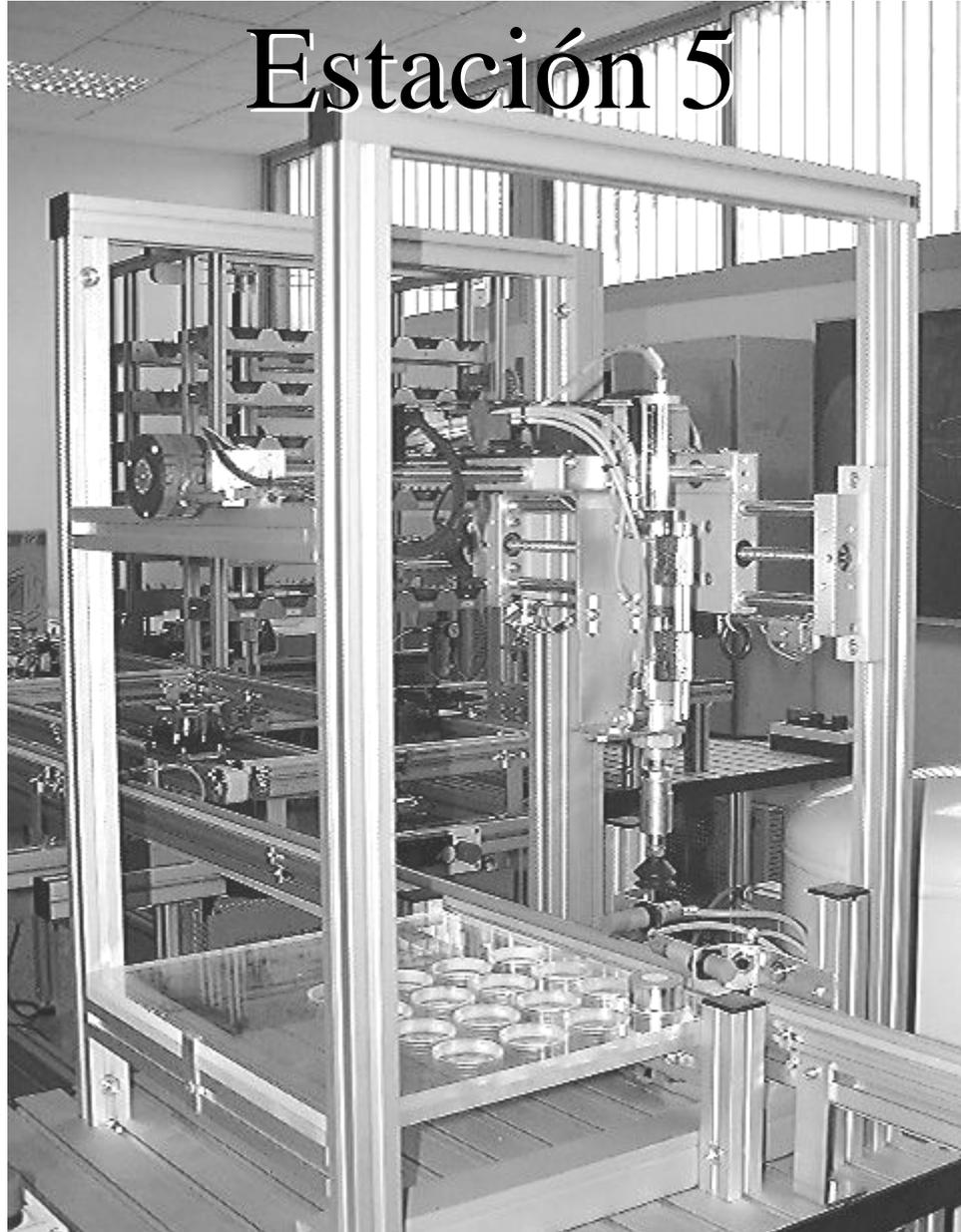
Estación 3

Estación 4

Control Transporte



# Estación 5



Almacén de piezas

Suministro de piezas  
a palets

# Célula de Fabricación Flexible

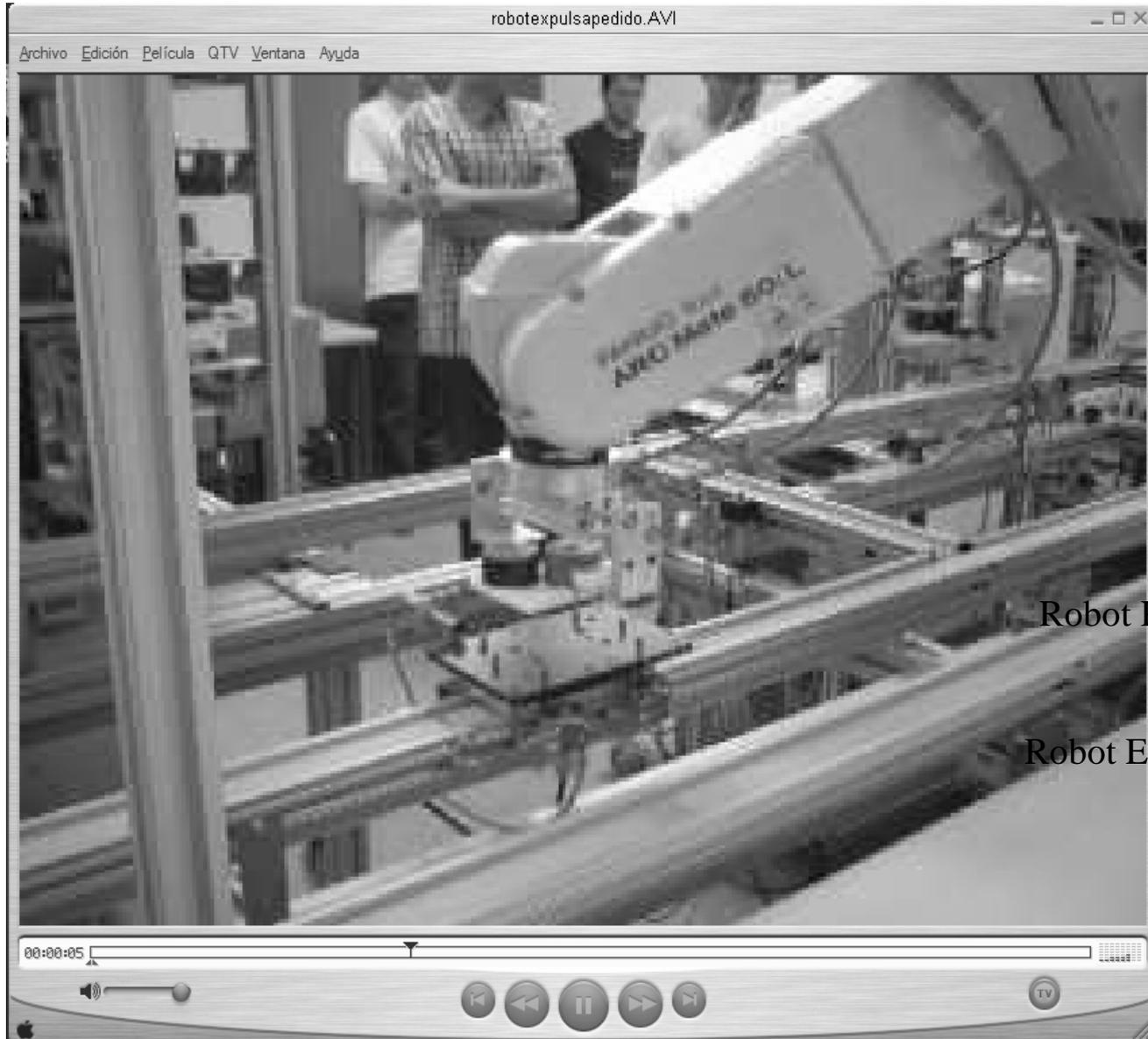
Estación 7

Estación 6

Control  
transporte



# Robot Fanuc



Robot Pone Piezas

Robot Expulsa pedido