

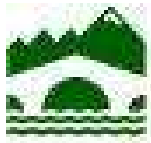


Centro Tecnológico de Eficiencia
y Sostenibilidad Energética

**Variadores de Velocidad
en el sector industrial:**

Eficiencia Energética

Logroño, 23 de Abril de 2010



**Gobierno
de La Rioja**

www.larioja.org

**Industria, Innovación
y Empleo**



Índice

- 1** **Presentación**
- 2** **Introducción a los Variadores de Velocidad**
- 3** **Métodos de control**
- 4** **Comparación de métodos**
- 5** **Ventajas**
- 6** **Aplicaciones**



1 Presentación

Algunas cifras

- El **60% de la Energía** consumida en Galicia se corresponde con la energía consumida por los equipos motrices (**motores, bombas, compresores, etc.**)
- **Todas estas aplicaciones son susceptibles de implementación de Arrancadores Suaves y Variadores de Velocidad**

Variadores de Velocidad:

- Con la Instalación de equipos de variación de velocidad. Se pueden conseguir en función de la aplicación unos **ahorros energéticos de entre un 15 y un 50%**.
- Significaría hasta **2400 GWh/año** o 1 millón de toneladas de CO2.



1 Presentación

Factores que influyen en la Eficiencia Energética

Cultura Energética	<ul style="list-style-type: none">• Una de cada cuatro empresas tiene conocimientos sobre ahorro y eficiencia energética.• Menos del 9'5% consultan información relacionada con estos temas.
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">• Las empresas consideran que dedican pocos recursos a las labores de mantenimiento de equipos consumidores de energía.
Control Energético	<ul style="list-style-type: none">• Solo un 9% de las empresas han contratado algún servicio energético (auditorías y diagnósticos) en los tres últimos años.• Un 25% de las empresas realizan algún tipo de control para identificar excesos de consumo energético.
Innovación Tecnológica	<ul style="list-style-type: none">• Bajo uso de Variadores de Velocidad.• No existe Control de fugas en Aire comprimido.• Baja utilización de sistemas de Regulación de Iluminación.• Desconocimiento de Categorías de Motores Eficientes.• ...



Índice

- 1** **Presentación**
- 2** **Introducción a los Variadores de Velocidad**
- 3** **Métodos de control**
- 4** **Comparación de métodos**
- 5** **Ventajas**
- 6** **Aplicaciones**



2 Introducción a los Variadores de Velocidad

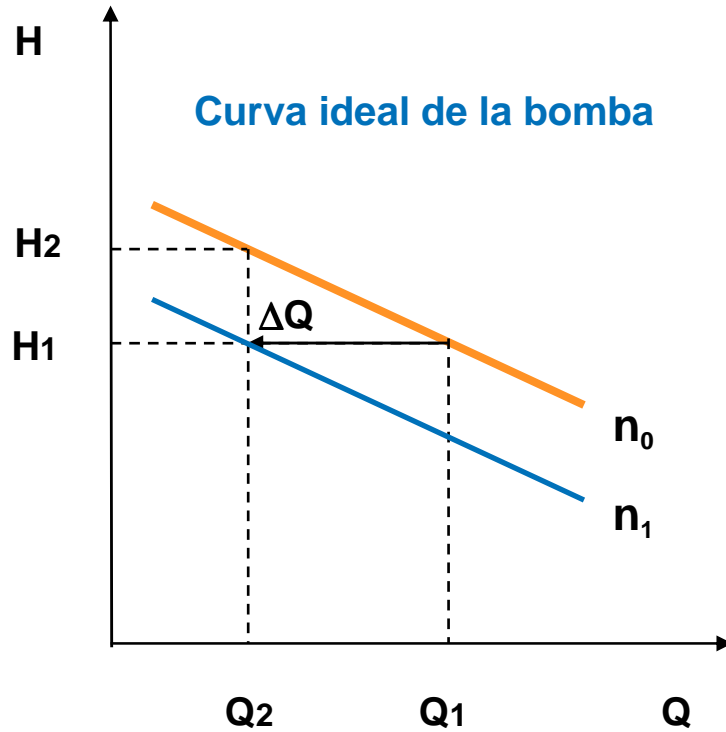
Uso de Variadores de Velocidad para ahorro energético

- Un **equipo accionado mediante un variador de velocidad** emplea generalmente menos energía que si dicho equipo fuera activado a una velocidad fija constante.
- Los **ventiladores, cintas transportadoras, bombas y compresores** representan las **aplicaciones más habituales**.
- Por **ejemplo:**
 - Cuando una **bomba es impulsada por un motor que opera a velocidad fija, el flujo producido puede ser mayor al necesario**.
 - Para ello, el flujo **podría regularse mediante una válvula de control** dejando estable la velocidad de la bomba.
 - **Resulta mucho más eficiente regular dicho flujo controlando la velocidad del motor**, en lugar de restringirlo por medio de la válvula, ya que el motor no consumirá una energía no aprovechada.

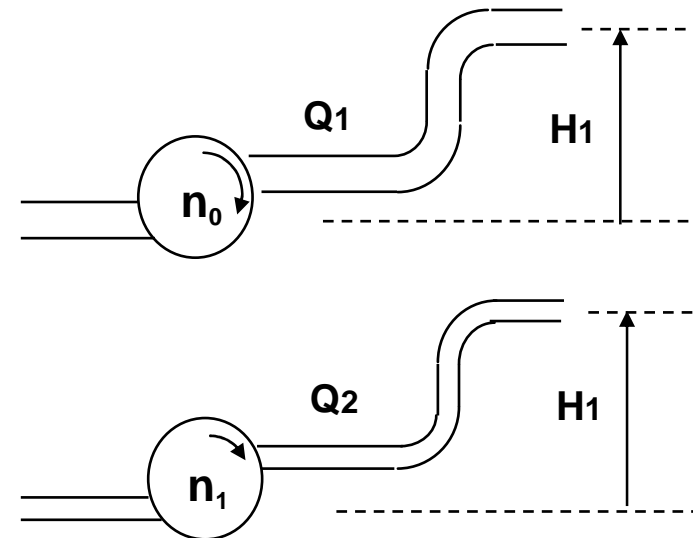


2 Introducción a los Variadores de Velocidad

Aproximación a las curvas de bombas y sistemas hidráulicos



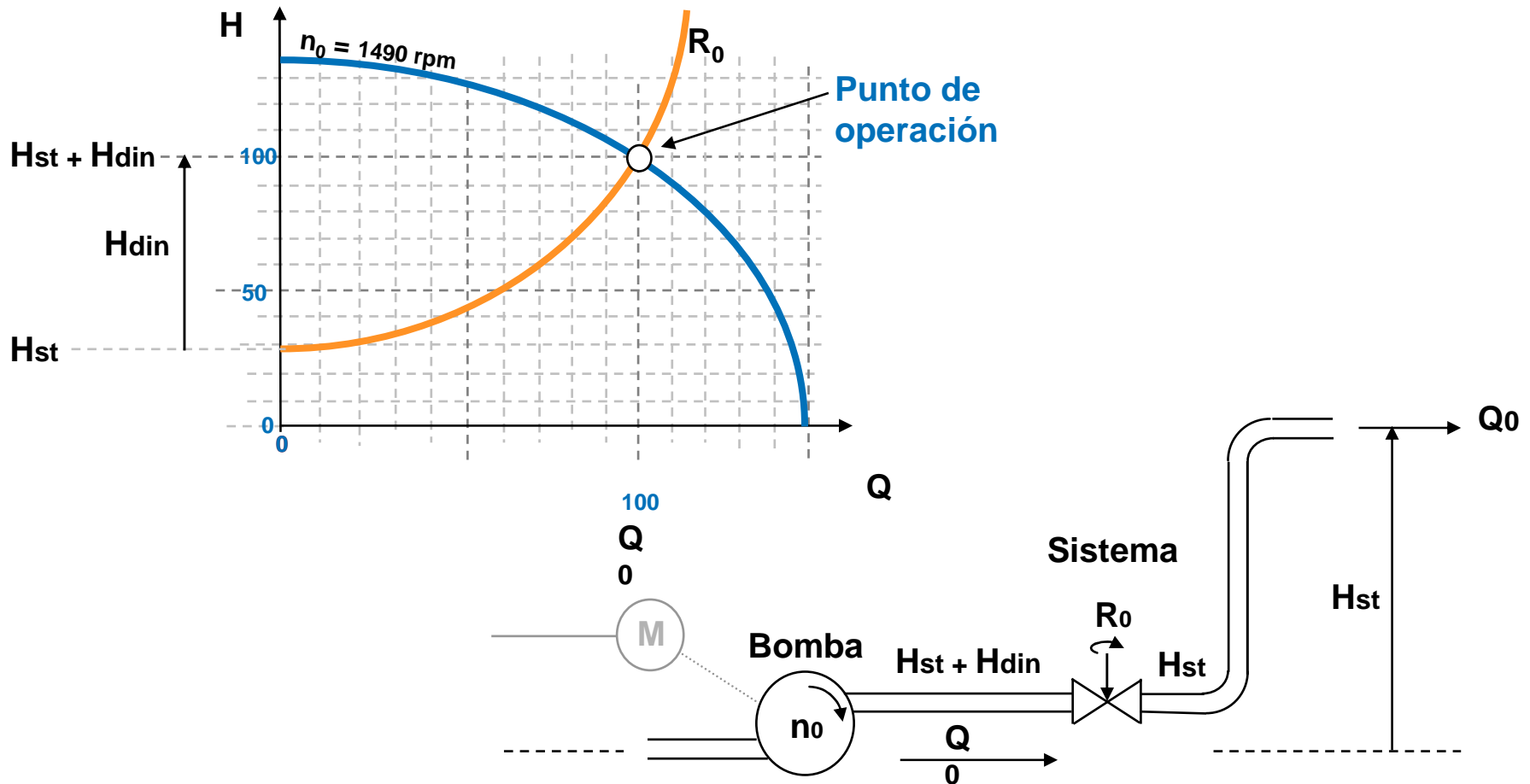
Si la velocidad disminuye, el caudal disminuye (y viceversa)





2 Introducción a los Variadores de Velocidad

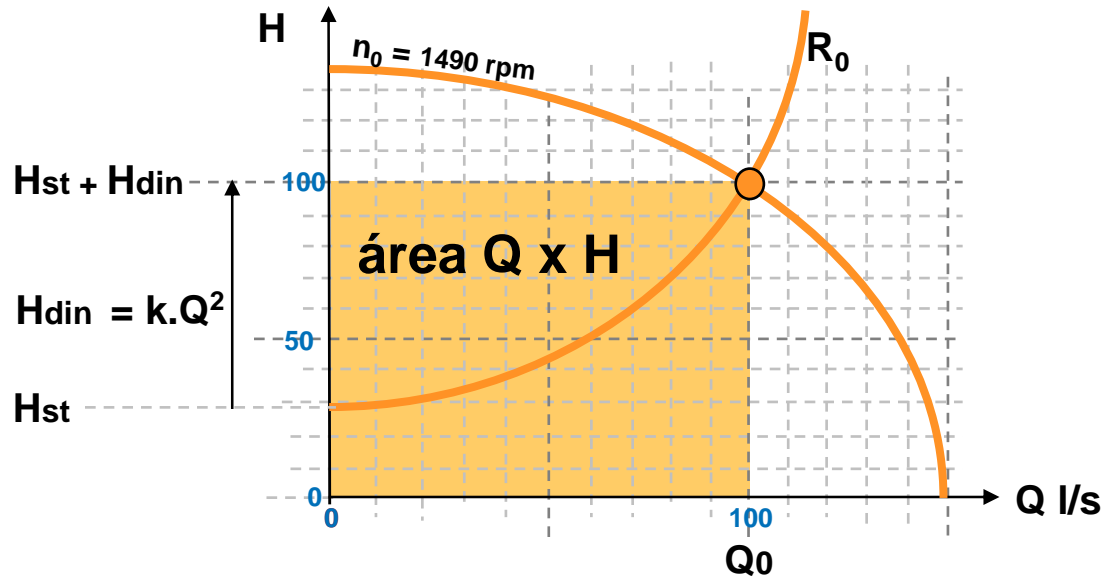
Curvas reales, punto de operación





2 Introducción a los Variadores de Velocidad

Fórmulas, leyes de afinidad



$$\text{Caudal} = Q_1 / Q_0 = n_1 / n_2$$

$$\text{Altura} = H_1 / H_0 = (n_1 / n_2)^2$$

$$\text{Potencia} = P_1 / P_0 = (n_1 / n_2)^3$$

$$\Rightarrow H = H_{st} + H_{din} = H_{st} + k.Q^2$$

$$\text{Potencia} = \frac{\rho \times g}{\eta} Q \times H \quad \hat{a}$$

Potencia \propto área Q x H



Índice

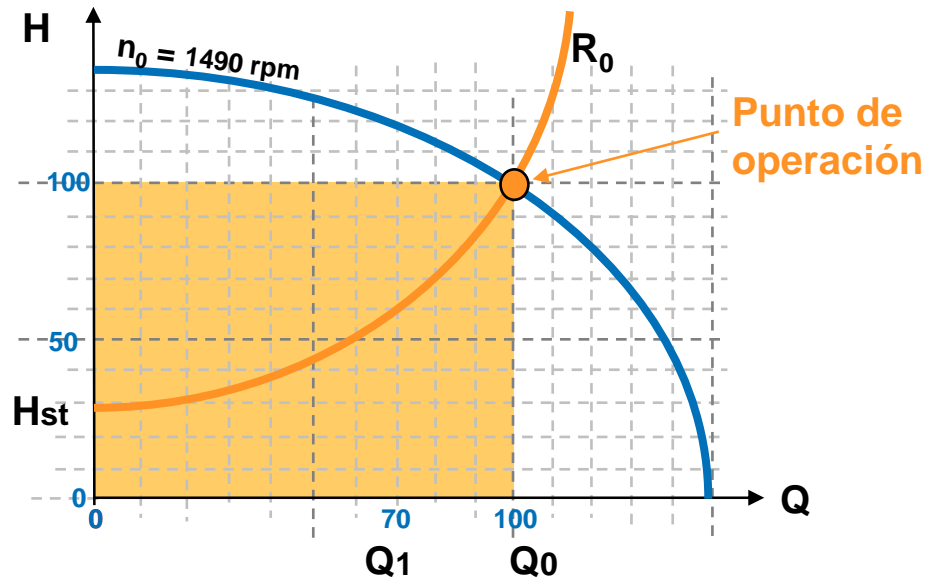
- 1 **Presentación**
- 2 **Introducción Variadores de Velocidad**
- 3 **Métodos de control**
- 4 **Comparación de métodos**
- 5 **Ventajas**
- 6 **Aplicaciones**



3 Métodos de control

Control de Q → Marcha - Paro

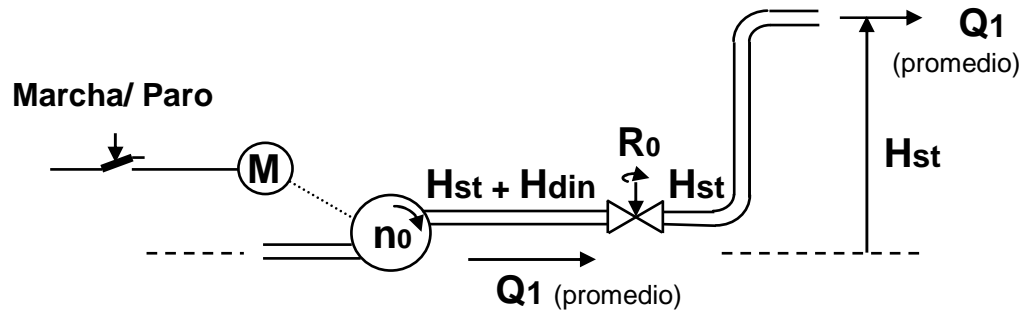
Objetivo: establecer $Q = 70$ l/s



Método:
70% del tiempo à Marcha
30% del tiempo à Paro

Potencia:
 $0,7 \times 100 \text{ kW} + 0,3 \times 0 \text{ kW}$

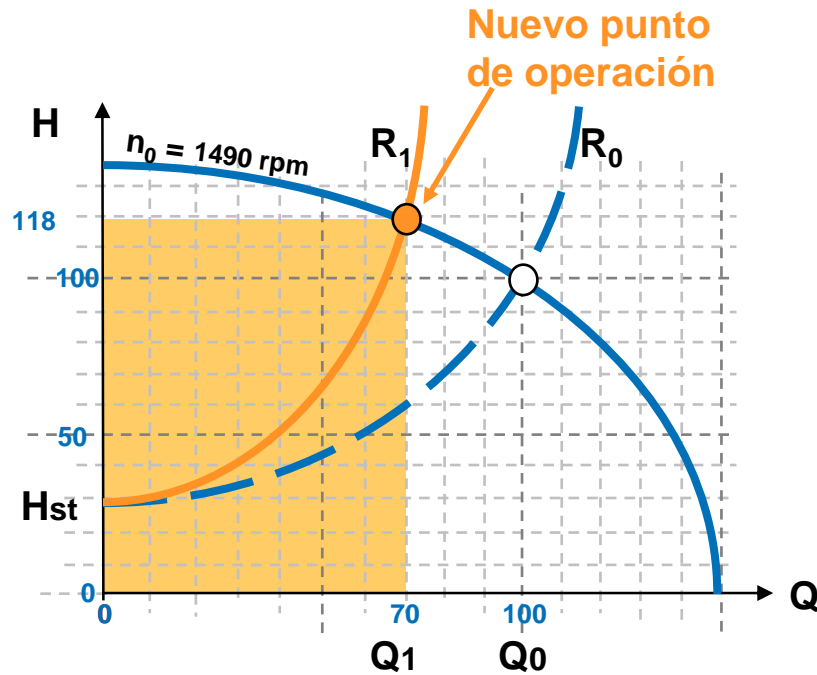
P = 70 kW





3 Métodos de control

Control de Q → Estrangulamiento

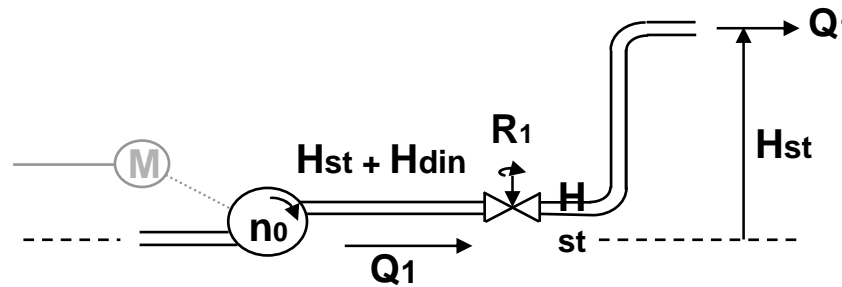


Objetivo: establecer $Q = 70 \text{ l/s}$

Método: aumentar la restricción del sistema, de R_0 a R_1 , mediante **estrangulación de la válvula**.
Disminuye Q pero aumenta H

Potencia: proporcional al área $H \times Q \diamond 1,18 \times 70$

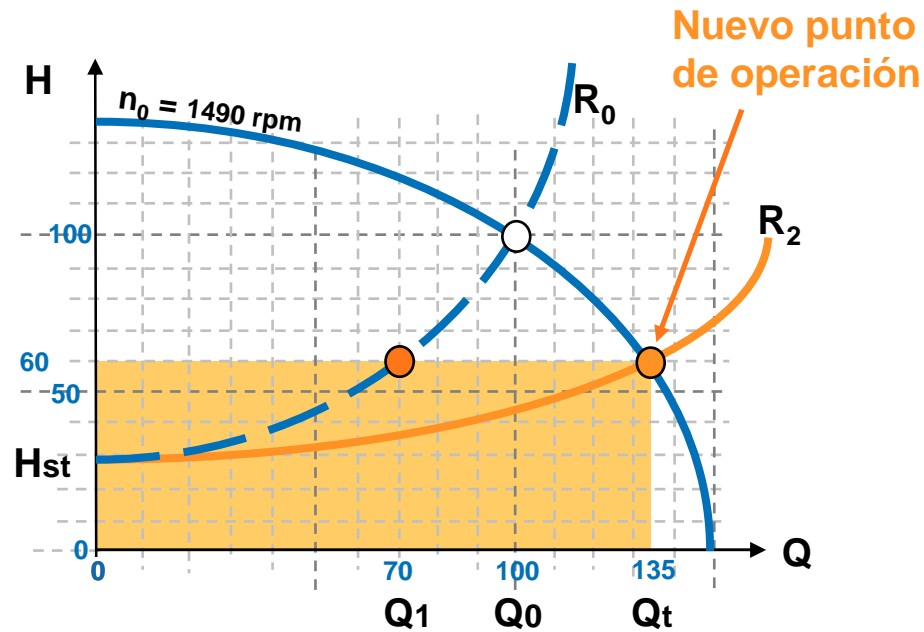
$P = 82,6 \text{ kW}$





3 Métodos de control

Control de Q → Derivación



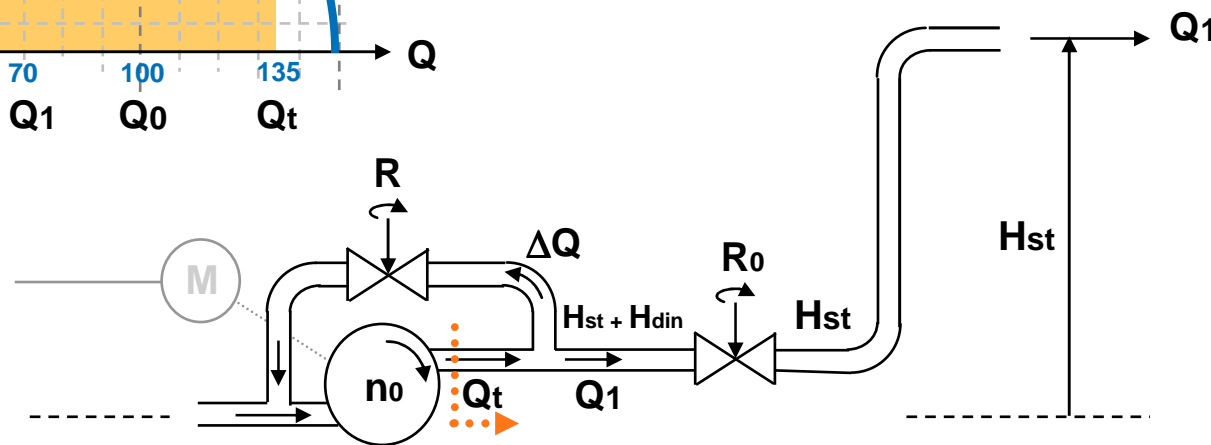
Objetivo: establecer $Q = 70$ l/s

Método: disminuir la restricción del sistema, de R_0 a R_2 , mediante alivio de la **válvula by-pass**.

Disminuye H aplicado a la válvula R_0 y, por ende, **disminuye Q** a la salida.

Potencia: prop. al área $H \times Q \diamond 0,6 \times 135$

P = 81 kW

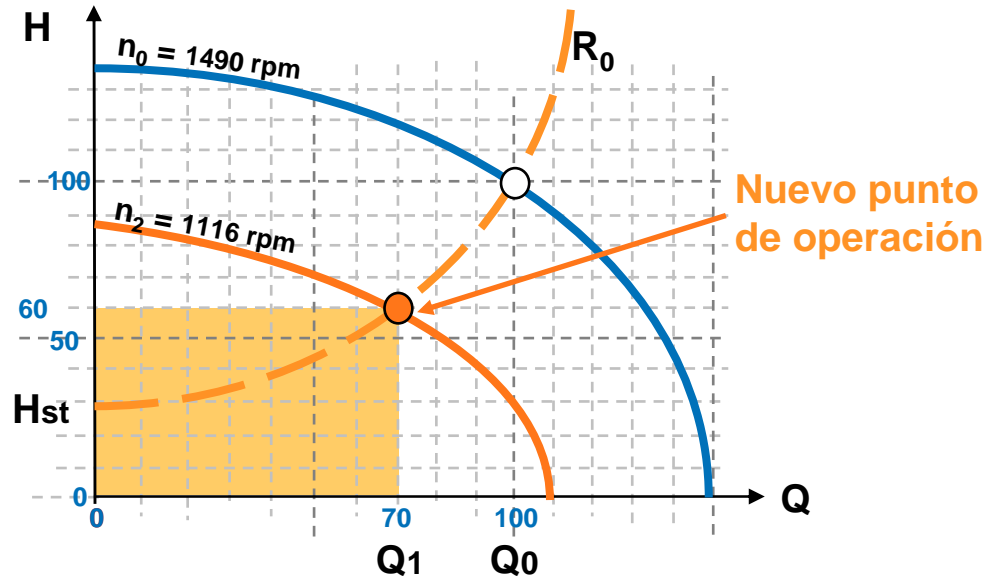


R_2 es la restricción total vista desde la bomba



3 Métodos de control

Control de Q → Variación de velocidad

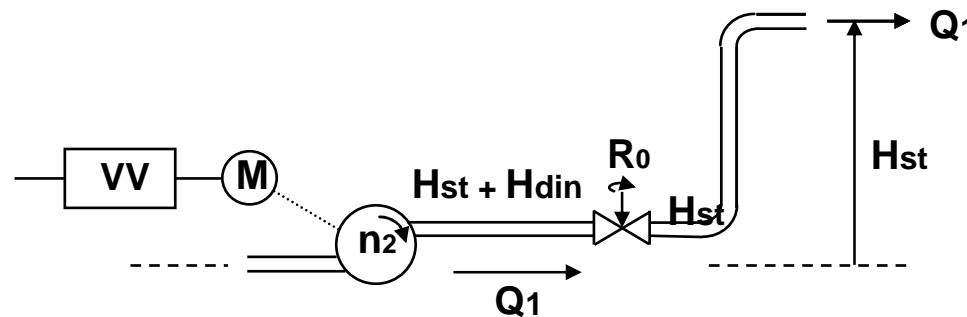


Objetivo: establecer $Q = 70 \text{ l/s}$

Método: disminuir la velocidad de la bomba desde la nominal del motor hasta aquella en que el punto de operación con R_0 imponga $Q = 70$
 Reduce simultáneamente H y Q.

Potencia: prop. al área $H \times Q$
 $\diamond 0,6 \times 70$

P = 42 kW





Índice

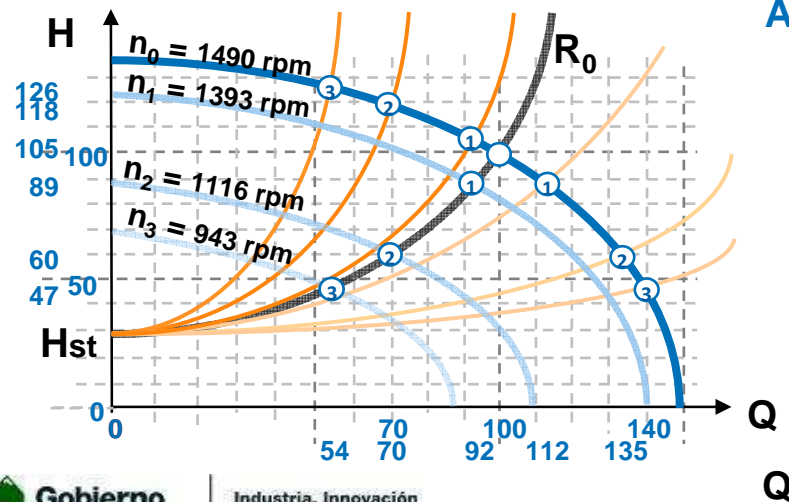
- 1** Presentación
- 2** Introducción
- 3** Métodos de control
- 4** Comparación de métodos
- 5** Ventajas
- 6** Aplicaciones



4 Comparación de métodos

Comparativa

Tiempo	Caudal		Método												
			Marcha - Paro			Estrangulación			Derivación			Variador de Velocidad			
hs	%	l / s	kW	MWh	€	kW	MWh	€	kW	MWh	€	rpm	kW	MWh	€
2.000	92	276	92	184	11.040	97	193	11.592	100	199	11.962	1.393	82	164	9.826
2.000	70	210	70	280	16.800	83	330	19.824	81	324	19.440	1.116	42	168	10.080
3.760	54	162	54	149	8.942	68	188	11.267	66	182	10.896	943	25	70	4.203
8.760				613	36.782	247	711	42.683	246	705	42.298		149	402	24.109
Diferencia de consumos frente al variador de velocidad					12.674			18.575			18.190				



Ahorros:

Variador vs. Marcha-Paro à €12.674

Variador vs. Estrangulación à €18.575

Variador vs. Derivación à €18.190

La distribución de tiempos influye en el coste energético final.



4 Comparación de métodos

Conclusión

Coste aproximado de instalación de un convertidor de frecuencia para el accionamiento de una bomba centrífuga de 100 kW:

Coste aproximado del convertidor de frecuencia con instalación à € 9.000

Tiempo de recuperación
de la inversión

Variador de Velocidad vs. Marcha Paro ◇ € 12.674 ◇ < 1 año

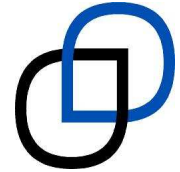
Variador de Velocidad vs. Estrangulación ◇ € 18.575 ◇ < 1/2 año

Variador de Velocidad vs. Derivación ◇ € 18.190 ◇ < 1/2 año



Índice

- 1** Presentación
- 2** Introducción
- 3** Métodos de control
- 4** Comparación de métodos
- 5** **Ventajas**
- 6** Aplicaciones



5 Ventajas

Variadores de Velocidad

- ┌ El convertidor de frecuencia incrementa drásticamente el **ahorro energético**.
- ┌ Se puede **utilizar el motor existente**.
- ┌ **Arranque suave**, con baja intensidad de corriente.
- ┌ **Evita golpes de ariete**.
- ┌ **Reduce desgaste** del sistema y equipamiento.
- ┌ **Reduce el ruido ambiente**.
 - └ Lo determinante en el **ahorro de energía** es el método de regulación.
 - └ **Mejoras adicionales, de segundo orden:**
 - └ El convertidor de frecuencia **mejora el $\cos \phi$** (aprox = 1 vs. 0,86) **◊ Disminuiremos las baterías de Condensadores de compensación de Energía Reactiva**



Índice

- 1** Presentación
- 2** Introducción
- 3** Métodos de control
- 4** Comparación de métodos
- 5** Ventajas
- 6** Aplicaciones



6 Aplicaciones

Variadores de Velocidad

- } **Depuración, bombes y abastecimiento de aguas.**
 - } **Sistemas de riego.**
 - } **Regulación de aire en sistemas de soplado y ventilación.**
 - } **Compresores de climatización y frío industrial y grupos de presión de maquinaria hidráulica.**
 - } **Elevadores y cintas transportadoras**
 - } **Molinos (piensos y áridos), machacadoras,...**
 - } ...
- [EnergyLab PID BOMBAS.ppt](#) [EnergyLab PID ÁRIDOS.ppt](#)



Centro Tecnológico de Eficiencia
y Sostenibilidad Energética

Clasificación energética de Motores Eléctricos:

Eficiencia Energética

Logroño, 23 de Abril de 2010



1 Motores de Alta eficiencia

Motores eficientes para optimizar la eficiencia energética

- } En la industria cerca del **42%** de la energía eléctrica se "consume" en **motores eléctricos trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla**.
- } Un motor eléctrico **consume** en su funcionamiento **unas cien veces más de lo que costó su compra**.
- } Hay **tres niveles de eficiencia** que se clasifican como **IE1, IE2, e IE3 según la IEC** (International Electrotechnical Commission) o **EFF3, EFF2 y EFF1** (según clasificación CEMEP).
- } ¿**Qué se adquiere** cuando se compra un motor de **Alta Eficiencia**?:
 - ✦ Un motor **EFF1 reduce las pérdidas de energía hasta en un 40%**.
 - ✦ El mayor **precio** de compra se **recupera a corto plazo, comparado con la vida útil** del motor eléctrico.



1 Motores de Alta eficiencia

Motores eficientes para optimizar la eficiencia energética

- El empleo de **motores de alta eficiencia (EFF1)** y Variador de velocidad **reducirá los requerimientos energéticos** con la consiguiente **reducción de emisiones contaminantes**.
- La **sustitución** de todos los motores convencionales de clase **EFF3 por motores EFF2** supondría el **ahorro de hasta 6TWh al año**.
- Esto supone que, con un precio de la electricidad de 0,09 € por kWh, **Europa ahorraría más de 540 millones de € al año**.



1 Clase del Motor

NORMATIVA

- La normativa de referencia internacional para la clasificación de motores es la IEC 60034-30:2008 publicada por el IEC (Comité Internacional Electrotécnico) que define tres niveles de eficiencia para motores de inducción de jaula de ardilla de velocidad única: IE1, IE2 e IE3 (de menor a mayor eficiencia). Su objetivo es armonizar los diferentes requerimientos internacionales para motores eléctricos.
- Además, la IEC 60034-30 también introduce el nivel IE4 / Super Premium Efficiency, un futuro nivel por encima de IE3.
- IEC establece la norma IEC 60031-2 para la determinación de las pérdidas y de la eficiencia energética de las máquinas eléctricas rotativas.



1 Motores de Alta eficiencia

Legislación

- }] Hasta el año 2009, en la UE sólo existía un acuerdo voluntario entre la comisión europea y la CEMEP (Comité de Fabricantes de Maquinas Eléctricas y Electrónica de Potencia), que define 3 niveles de eficiencia EFF3, EFF2, y EFF1 (de menor a mayor eficiencia).
- }] El 22 de julio de 2009 se publica en la comisión europea el reglamento 640/2009 por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE (Ecodiseño) en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos.
- }] En el se establece un calendario para la implementación de los requisitos de diseño de los motores eléctricos:
 - ⊗ **A partir del 16 de Junio de 2011 será de obligado cumplimiento para motores entre 0,75 kW y 375 kW una clasificación mínima IE2 (norma IEC 60034-30).**
 - ⊗ **A partir del 1 de Enero de 2015 el rendimiento mínimo de los motores de 7,5 a 375 kW será el IE3.**
 - ⊗ **A partir del 1 de enero 2017 la obligación del IE3 se extenderá también a los motores de 0,75 kW a 5,5 kW**



1 Motores de Alta eficiencia

Legislación

La tabla inferior muestra las clases de rendimiento EU MEPS e IEC, así como las clases de rendimiento CEMEP y US EpAct de modo comparativo.

	IEC 60034-30	Directiva 2009/125/CE	CEMEP Acuerdo voluntario europeo	US EPAAct
Número de polos	2,4,6	2,4,6	2,4	2,4,6
Rango de potencias	0,75 - 375	0,75 - 375	1,1 - 90	0,75 - 150
Clases	IE3 - Premium efficiency	IE3 - Premium efficiency		Idéntica a NEMA Premium efficiency
	IE2 High efficiency	IE2 High efficiency	Comparable a EFF1	Idéntica a NEMA Energy efficiency/EPACT
	IE1 Standard efficiency		Comparable a EFF2	Menor que el rendimiento estándar



1 Motores de Alta eficiencia

Legislación

- La norma **IEC 60034-30:2008** es más amplia que la **EU MEPS**, puesto que por ejemplo, también cubre motores para atmósferas explosivas y motores freno excluidos de EU MEPS.
- Además, la **IEC 60034-30** también introduce el **nivel IE4 / Super Premium Efficiency**, un futuro nivel por encima de IE3.



1 Motores de Alta eficiencia

EFF1 frente a EFF3

Motor EFF1, situaciones de compra

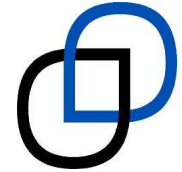
- ✿ Un motor **EFF1** reduce las pérdidas de energía hasta un **20%**.



- Motor 15 kW
- 4000 horas/año

Ahorro 12.000 kWh al año

Motor de la **clase EFF3** presentan una **muy baja eficiencia** y representan una **inversión antieconómica** en la mayoría de las situaciones.



2 Clasificación de la Clase del Motor

Tablas de clasificación: CEMEP (European sector committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics).

Motores de cuatro polos

kW	EFF3 η_n	EFF2 η_n	EFF1 η_n
1.1	< 76.2	>= 76.2	>=83.8
1.5	< 78.5	>= 78.5	>=85.0
2.2	< 81.0	>= 81.0	>=86.4
3	< 82.6	>= 82.6	>=87.4
4	< 84.2	>= 84.2	>=88.3
5.5	< 85.7	>= 85.7	>=89.2
7.5	< 87.0	>= 87.0	>=90.1

11	< 88.4	>= 88.4	>=91.0
15	< 89.4	>= 89.4	>=91.8
18.5	< 90.0	>= 90.0	>=92.2
22	< 90.5	>= 90.5	>=92.6
30	< 91.4	>= 91.4	>=93.2
37	< 92.0	>= 92.0	>=93.6
45	< 92.5	>= 92.5	>=93.9
55	< 93.0	>= 93.0	>=94.2
75	< 93.6	>= 93.6	>=94.7
90	< 93.9	>= 93.9	>=95.0

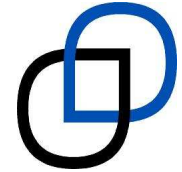


2 Clasificación de la Clase del Motor

Tablas de clasificación: CEMEP (European sector committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics).

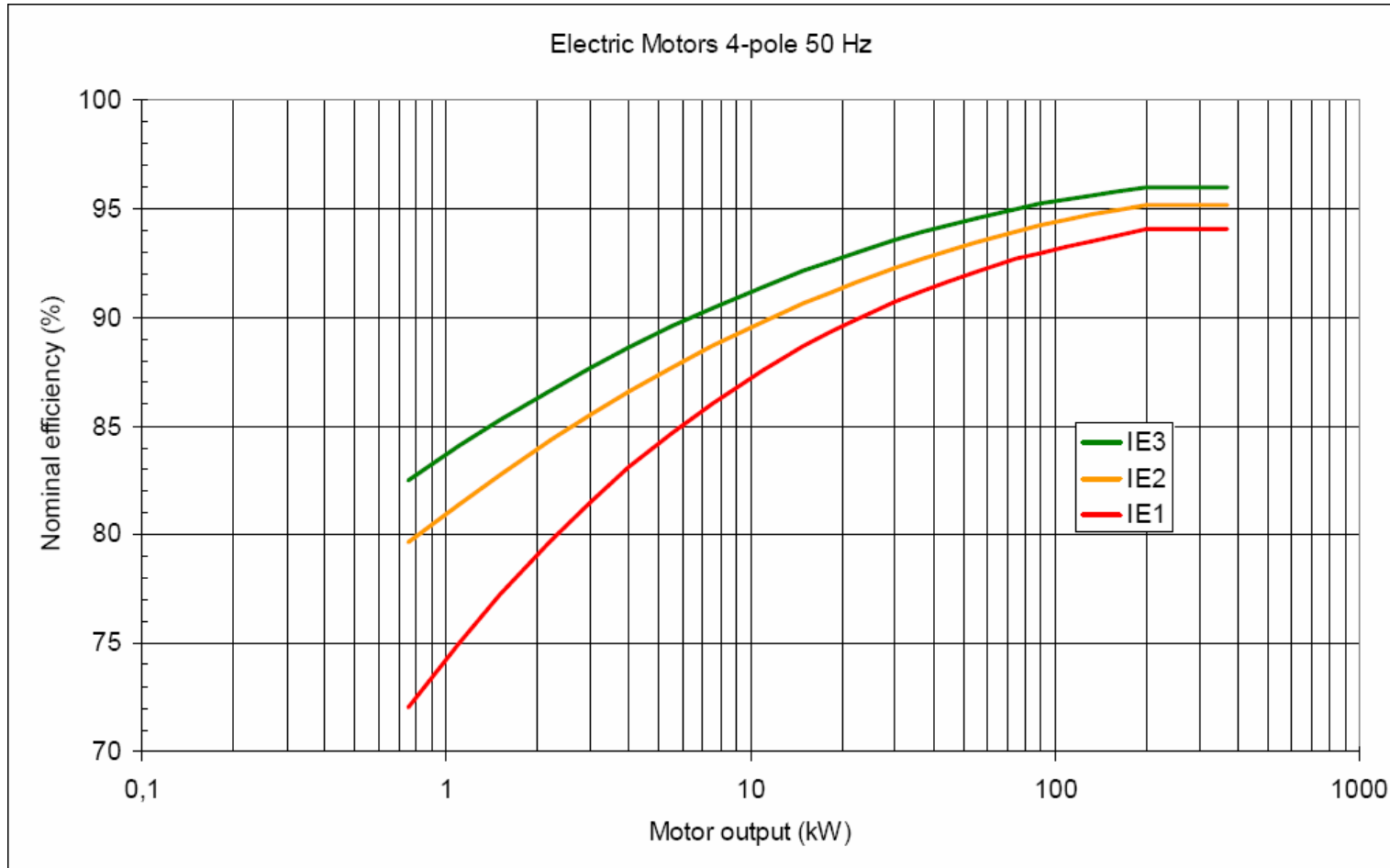
Motores de dos polos

kW	EFF3	EFF2	EFF1
	η_n	η_n	η_n
1.1	< 76.2	\geq 76.2	\geq 82.8
1.5	< 78.5	\geq 78.5	\geq 84.1
2.2	< 81.0	\geq 81.0	\geq 85.6
3	< 82.6	\geq 82.6	\geq 86.7
4	< 84.2	\geq 84.2	\geq 87.6
5.5	< 85.7	\geq 85.7	\geq 88.6
7.5	< 87.0	\geq 87.0	\geq 89.5
11	< 88.4	\geq 88.4	\geq 90.5
15	< 89.4	\geq 89.4	\geq 91.3
18.5	< 90.0	\geq 90.0	\geq 91.8
22	< 90.5	\geq 90.5	\geq 92.2
30	< 91.4	\geq 91.4	\geq 92.9
37	< 92.0	\geq 92.0	\geq 93.3
45	< 92.5	\geq 92.5	\geq 93.7
55	< 93.0	\geq 93.0	\geq 94.0
75	< 93.6	\geq 93.6	\geq 94.6
90	< 93.9	\geq 93.9	\geq 95.0



2 Clasificación de la Clase del Motor

Clasificación según IEC60034-30:2008 (International Electrotechnical Commission)





3 Evaluación Financiera

Ahorro financiero

} Cálculo rápido:

$$\text{Ahorro anual (€/año)} = \text{hrs} \times \text{kW} \times \%Pot \times \text{€/kWh} \times (1/\eta_{\text{std}} - 1/\eta_{\text{HEM}})$$

Donde:

Hrs = tiempo de utilización anual (en horas)

kW = potencia del motor (en kW)

%Pot = fracción de plena carga a que trabaja el motor

€/kWh = coste de la electricidad (en €/kWh)

η_{std} = eficiencia de un motor estándar (EFF3)

η_{HEM} = eficiencia de un motor HEM

} **Estimación** razonable será suponer una **eficiencia energética** en el **límite** entre las de las **clases EFF 2 y 3** para un motor que nunca se ha reparado. Si el motor se ha reparado, **pérdida** adicional de eficiencia del **0,5% por cada reparación.**



4 Ejemplo de Aplicación

Caso Real

Motor **cuatro polos** y **75 kW**, acciona una bomba de refrigeración de máquina de inyección, trabaja **8000 horas al año**.

Tiempo de Funcionamiento / año (h/año)	Potencia del Motor (kW)	Coste de la Energía (€/kWh)	Rdto. Motor de baja Eficiencia (EFF3) η_{std}	Rdto. Motor de alta Eficiencia (EFF1) η_{HEM}	Ahorro total / Año (€/año)	Coste del Motor EFF1 (€)	Tiempo retorno Inversión (TR) (años)
8000	15	0,09	88,20	91,8	480,19	1200	2,50
8000	15	0,09	83,20	91,8	1216,06	1200	0,99
6000	15	0,09	88,20	91,8	360,14	1200	3,33
6000	75	0,09	91,00	95	1873,92	7200	3,84
7500	75	0,09	92,20	95	1618,34	7200	4,45
8000	75	0,09	88,20	95	4382,38	7200	1,64
6000	200	0,09	81,00	97	21993,13	18000	0,82
7500	200	0,09	88,20	97	13885,97	18000	1,30
8000	200	0,09	91,00	97	9788,15	18000	1,84

$$\text{Ahorro anual (€/año)} = 8000 \times 75 \times 100\% \times 0,09 \times (1/88.2 - 1/95)$$



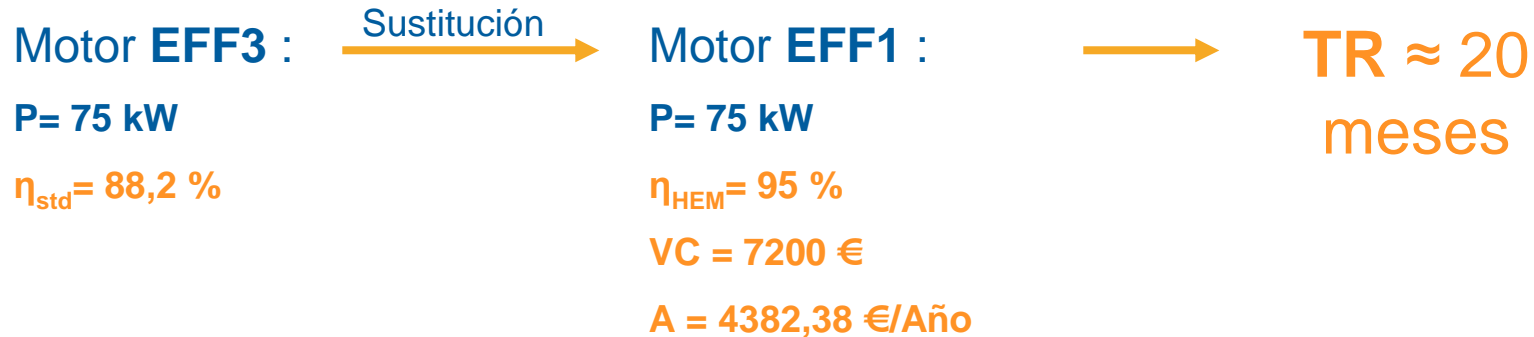
5 Ejemplo de Aplicación

Resultados

- Ahorro anual de energía: **A = 4382,38 €/Año**
- El Tiempo de retorno de inversión **TR** (años) será:

$$TR = \frac{VC}{A}$$

Siendo **VC** el **Valor de compra (€)** y **A** el **Ahorro Anual (€/año)**.



Inversión amortizada en un tiempo de alrededor de año y medio



Desde EnergyLab queremos darle las...

Gracias por su atención



Centro Tecnológico de Eficiencia
y Sostenibilidad Energética

César Barreira Pazos
cesar.barreira@energylab.es

Departamento de Industria

Edificio Isaac Newton.
Lagoas Marcosende, s/n. 36310, Vigo.
T_986 81 86 66 F_986 81 86 65
energylab@energylab.es
www.energylab.es