



II CONGRESO NACIONAL DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA Y CARRERAS AFINES



Taller: BREVE INTRODUCCIÓN PRÁCTICA A LA GENERACIÓN ASINCRÓNICA EN PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Victor Hugo Kurtz y Jorge Alberto Olsson
Kurtz.unam@gmail.com

Proy. De Investigación: 16/I142 U.Na.M


OBERA, MISIONES
11 Octubre 2019

Resumen

- En este taller se tratarán los fundamentos prácticos para la implementación de **motores a inducción**, como **generadores eléctricos asincrónicos** en **pequeñas centrales hidroeléctricas**.
- Proponiendo reglas prácticas para la selección del motor y los elementos auxiliares para la excitación.

>



CONIEE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncronica en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19





II CONIEE 2019

Taller: BREVE INTRODUCCIÓN PRÁCTICA A LA GENERACIÓN ASINCRÓNICA EN PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

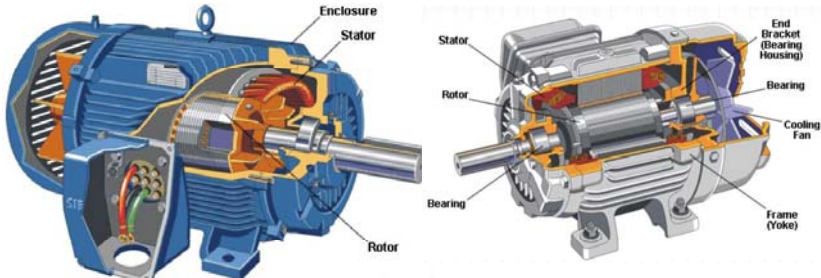

GENERACION ASINCRONICA

Proy. De Investigación: 16/I142 U.Na.M

CONIEE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncronica en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

VHK1

GENERACION ASINCRONICA

II CONIEE 2019

CONIEE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncronica en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

Diapositiva 4

VHK1

Victor Hugo Kurtz; 27/08/2019

ABREVIATURAS

- **AVR:** Automatic Voltage Regulator
- **AFR:** Automatic Frequency Regulator
- **CGI:** Controlador de Generación a inducción
- **IMAG:** Induction Motor as Generator
- **ICG:** Induction Generator Controllers
- **ELC:** Electronic Load Contrololator .

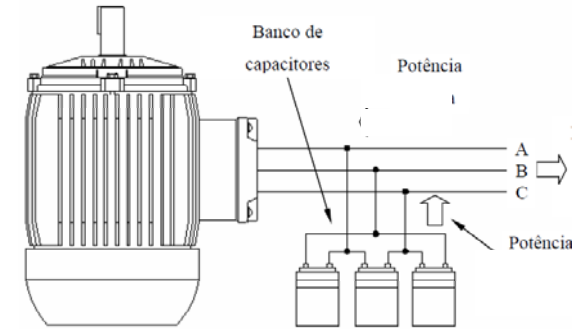


CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

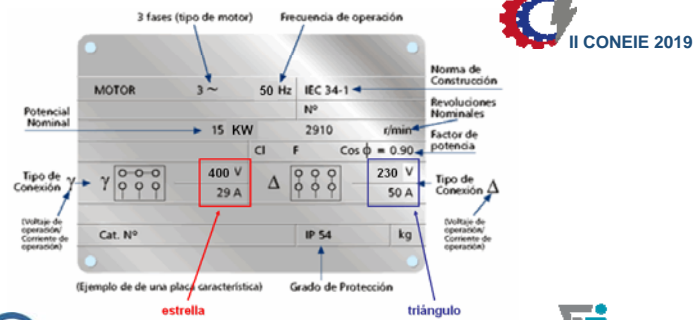
Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

5

Motor Asíncrono como Generador



Motor Asíncrono como Generador Placa Característica Motor Asíncrono



Motor Asíncrono como Generador Placa Característica Motor Asíncrono

		MOTOR ELECTRICO	
MOTORES Tu Fuerza Industrial		TRIFASICO A Induccion	
H.P 4	k.W 3	TIPO MS	MOD.MS100L2.4
220/380 V	50 Hz	PESO 24 kg	CONEX. Δ/Y -S1
11.71/6.78 A	IP. 55	1430 RPM	COS. 0.82
AÑO 2015	No. 1412068P10478	Aisl. Clase F	No de Fases 3 ~
FABRICADO EN CHINA		IEC60034	



Motor Asincrónico como Generador
Placa Característica Motor Asincrónico

MOTOR ELECTRICO TRIFASICO A Induccion					
H.P.	7.5	K.W.	5.5	TIPO Y2	MOD. Y2-132S
380 V	Hz. 50	PESO	65	CONEX.	-S1
11.7 A	IP.55	144	RPM	COS. 0.85	
AÑO	13	No.	017660	Aisl. Clase F	No de Fases 3~
FABRICADO EN CHINA				IEC 60034	

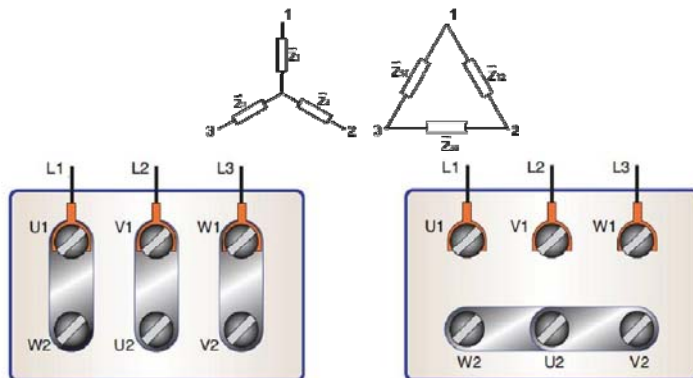
MOTOR ELECTRICO TRIFASICO A Induccion					
H.P.	7.5	K.W.	5.5	TIPO Y2	MOD. Y2-
380 V	Hz. 50	PESO		CONEX.	-S1
A	IP.55		RPM	COS.	
AÑO	No.	Aisl. Clase F	No de Fases 3~		
FABRICADO EN CHINA				IEC 60034	



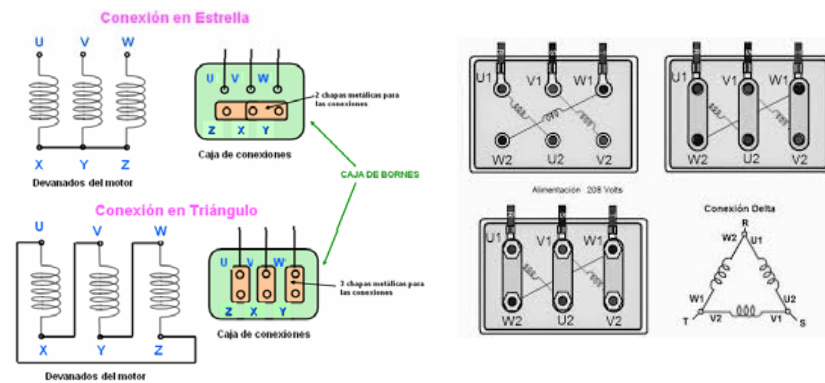
Motor Asincrónico como Generador
Tipos de Conexiones

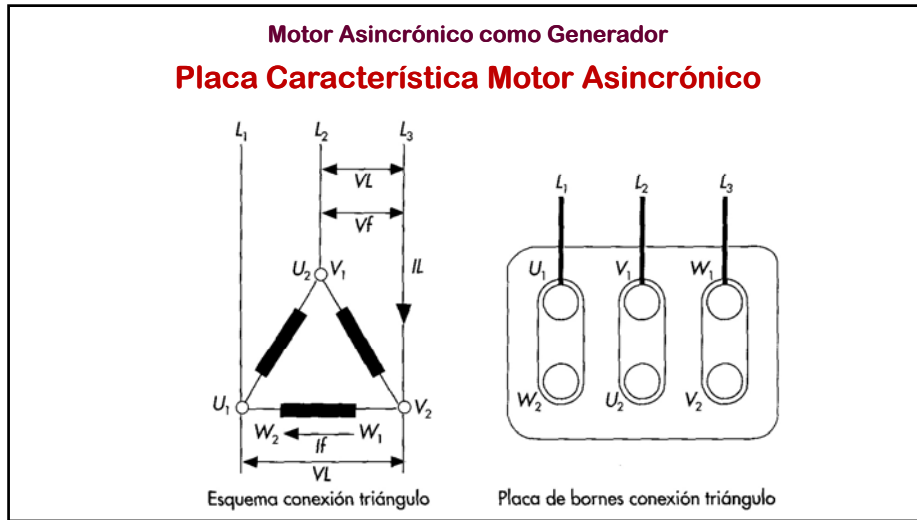


Motor Asincrónico como Generador
Placa Característica Motor Asincrónico



Motor Asincrónico como Generador
Placa Característica Motor Asincrónico





Motor Asincrónico como Generador

Generación Asincrónica

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asincrónica en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

14

Motor Asincrónico como Generador

- Para que un motor asincrónico tipo jaula de ardilla, funcione como generador, es necesario conectar **capacitores** en paralelo con los bornes del motor.

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asincrónica en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

15

Motor Asincrónico como Generador

- Para que un motor asincrónico tipo jaula de ardilla, funcione como generador, es necesario conectar **capacitores** en paralelo con los bornes del motor.

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

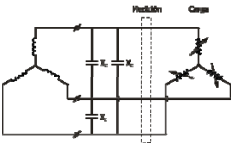
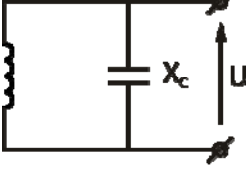
Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asincrónica en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

16

Motor Asíncrono como Generador

Determinación del Capacitor de Excitación

- El criterio propuesto, parte de siguiente razonamiento.
- Conociendo la intensidad de la corriente que toma el generador conectado como motor, sin carga I_0 . Se elige un capacitor que consuma igual o menor corriente por fase.

$$X_{Cap} = \frac{1}{\omega.C}$$

$$I_{Cap} = U_{Cap}.\omega.C$$

$$\omega = 2.\pi.f$$

$$I_{Cap} = U_{Cap}.2\pi.f.C$$

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson | Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 | 17

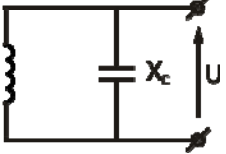
Motor Asíncrono como Generador

Determinación del Capacitor de Excitación

$$I_{Cap} = U_{Cap}.2\pi.f.C$$

Despejando C de la ecuación anterior

$$C = \frac{I_{Cap}}{U_{Cap} 2\pi.f}$$



Donde:

- C = Capacitor [μ F]
- I_{Cap} = Corriente nominal del capacitor [A]
- U_{Cap} = Tensión en los bornes del capacitor [V]
- f = Frecuencia [Hz]

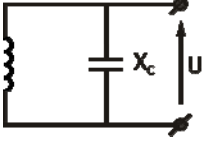
CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson | Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 | 18

Motor Asíncrono como Generador

Determinación del Capacitor de Excitación

Como

$$C = \frac{I_{Cap}}{U_{Cap} 2\pi.f}$$



$$C = \frac{I_0}{U_{Gen} 2\pi.f} \quad [\mu F]$$

- C = Capacitor [μ F]
- I_{Cap} = Corriente nominal del capacitor [A]
- U_{Cap} = Tensión en los bornes del capacitor [V]
- f = Frecuencia [Hz]

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson | Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 | 19

Motor Asíncrono como Generador

Determinación del Capacitor de Excitación

La conexión de los capacitores, en un circuito trifásico pueden ser en estrella "Y" o en triángulo "Δ".

La potencia reactiva para cada caso se puede expresar, partiendo de la ecuación.

$$Q_{Cap} = C.\omega.U^2$$

Donde:

- Q_{Cap} = Potencia reactiva capacitiva [VA]
- C = Capacidad [μ F]
- ω = Pulsación; $\omega = 2.\pi.f$
- U = Tensión en los bornes del capacitor.

La relación entre la potencia activa y la reactiva es: $Q = P.tg\phi$

$$Q_Y = 3.U_f^2.\omega.C_Y$$

$$Q_\Delta = 3.U_f^2.\omega.C_\Delta$$

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson | Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 | 20

Motor Asíncrono como Generador

Determinación del Capacitor de Excitación

$Q_Y = 3.U_f^2.\omega.C_Y$

$Q_\Delta = 3.U_f^2.\omega.C_\Delta$

$C_Y = \frac{P.tg\phi}{3.U_f^2.\omega} = \frac{P.tg\phi}{U^2.\omega}$

$C_\Delta = \frac{P.tg\phi}{3.U_L^2.\omega}$

$C_\Delta = \frac{C_Y}{3}$

Despejando C_Δ y C_Y y reemplazando en: $Q = P.tg\phi$

De donde se deduce que las capacidades conectadas en triángulo "Δ", son tres veces mas pequeñas que las conectadas en estrella "Y".
Pero la tensión de servicio debe ser $\sqrt{3}$ mayor.

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

21

Motor Asíncrono como Generador

Determinación del Capacitor de Excitación

Micro o Pico Turbina

Sin Regulador de velocidad (Flujo Lanzado)

Banco de Capacitores de Excitación

Banco de capacitores

Potencia reactiva

Potencia reactiva

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

22

Motor Asíncrono como Generador

Capacitor de Excitación

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

23

Motor Asíncrono como Generador

Capacitor de Excitación

Tensión nominal	Qc	In	Cn	d x h	Peso	Qc efectiva
400 V-50 Hz	5 kVAr	7,2 A	33 (3 x uF)	63,5 x 129 mm	0,4 kg	5 kVAr
400 V-50 Hz	10 kVAr	14,5 A	66,5 (3 x uF)	75 x 198 mm	0,6 kg	10 kVAr
400 V-50 Hz	15 kVAr	21,7 A	99,5 (3 x uF)	85 x 198 mm	0,8 kg	15 kVAr
440 V-50 Hz	7,5 kVAr	9,9 A	41 (3 x uF)	75 x 160 mm	0,5 kg	6,3 kVAr
400 V-50 Hz	12,5 kVAr	16,4 A	68,5 (3 x uF)	85 x 198 mm	0,8 kg	10 kVAr
400 V-50 Hz	15 kVAr	19,7 A	82 (3 x uF)	85 x 273 mm	1,1 kg	12,5 kVAr
400 V-50 Hz	16,7 kVAr	21,9 A	91,5 (3 x uF)	85 x 273 mm	1,2 kg	14 kVAr
400 V-50 Hz	25 kVAr	32,8 A	138 (3 x uF)	85 x 348 mm	1,5 kg	20,8 kVAr
400 V-50 Hz	28 kVAr	36,8 A	154 (3 x uF)	85 x 348 mm	1,5 kg	23,2 kVAr
400 V-50 Hz	30 kVAr	39,4 A	165 (3 x uF)	85 x 348 mm	1,6 kg	25 kVAr

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

24

Motor Asíncrono como Generador

Determinación de la Máxima Potencia a Generar

Un motor a inducción conectado como generador, proporciona menor potencia, que la que consume como motor.



Existen varias técnicas para determinar la potencia máxima, que puede generar un motor conectado como generador. *En este caso se opta por el método de la diferencia de corriente.*

Diferencia de corriente que toma el generador como motor en vacío, respecto a la que toma a plena carga por fase.

$$I_{Gen} = I_N - I_O$$

I_{Gen} = Máxima corriente que puede generar.
 I_N = Corriente nominal consumida como motor, (valor tomado de la placa de características del motor)
 I_O = Corriente en vacío, que toma la máquina a inducción, conectado como motor (magnitud medida).

Por lo tanto, la potencia útil máxima que es posible generar, asumiendo cargas resistivas pura, está dado por:

$$P_{Gen} = 3U_f \cdot I_{Gen} \cdot f$$



CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Víctor Hugo Kurtz y Jorge Olsson | Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 | 25

Motor Asíncrono como Generador




Velocidad de Rotación

Para este caso, como se trata de una electromáquina asíncrona, el equivalente de la velocidad del campo rotante, es distinta a la velocidad de rotación del eje.

La velocidad de giro de la turbina se puede determinar, entonces, con la ayuda de la ecuación:

$$n_{rotación} = n_{hs} = (n_s - n_p) + n_s$$

$n_{rotación}$ = Velocidad de rotación como generador.
 n_{hs} = Velocidad hipersincrónica.
 n_s = Velocidad sincrónica o del campo rotante; $n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$
 n_p = Velocidad de rotación del eje a plena potencia, máquina conectada como motor (Se toma de la placa de características del motor).

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Víctor Hugo Kurtz y Jorge Olsson | Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 | II CONEIE 2019 | 26

Motor Asíncrono como Generador

Velocidad Sincrónica

$$N = f \frac{60}{P}$$

donde:

N: Número de revoluciones por r
 f: Frecuencia de la red en Hertz.
 P: Número de par de polos del motor.

Nº DE POLOS	50 Hz	60 Hz
2 polos	3,000	3,600
4 polos	1,500	1,800
6 polos	1,000	1,200
8 polos	750	900
12 polos	500	600
16 polos	375	450
24 polos	250	300





II CONEIE 2019





Motor Asíncrono como Generador

Velocidad de Rotación

$$n_{rotación} = n_{hs} = (n_s - n_p) + n_s$$

$n_{rotación}$ = Velocidad de rotación como generador.
 n_{hs} = Velocidad hipersincrónica.
 n_s = Velocidad sincrónica o del campo rotante; $n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$
 n_p = Velocidad de rotación del eje a plena potencia, máquina conectada como motor (Se toma de la placa de características del motor).

Velocidad de rotación = (1500 - 1430) + 1500 = 1570 rpm

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Víctor Hugo Kurtz y Jorge Olsson | Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 | 28




BANCO DE ENSAYO

GENERACION ASINCRONICA

Proy. De Investigación: 16/I142 U.Na.M

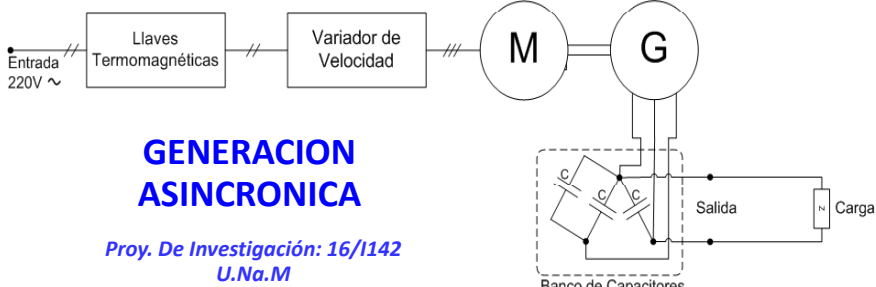
CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 29



BANCO DE ENSAYO

GENERACION ASINCRONICA

Proy. De Investigación: 16/I142 U.Na.M



CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 30



BANCO DE ENSAYO

GENERACION ASINCRONICA

Proy. De Investigación: 16/I142 U.Na.M



CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 31



BANCO DE ENSAYO

GENERACION ASINCRONICA

Proy. De Investigación: 16/I142 U.Na.M



Panel de Control

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19 32



BANCO DE ENSAYO

GENERACION ASINCRONICA

*Proy. De Investigación:
16/1142 U.Na.M*




Tablero de Cargas

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

33



FIN



CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

34




FIN



CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

35

CONEIE 2019 - Mgtr. Ing. Victor Hugo Kurtz y Jorge Olsson

Taller: Breve Introducción Práctica a La Generación Asíncrona en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. 11oct19

36