ZONA FRANCA CELSIA S.A. ESP.

RECUPERACIÓN EFICIENCIA CONDENSADOR CICLO COMBINADO FLORES I”

BARRANQUILLA , 12 DE MAYO DE 2016

CELSIA

CONTENIDO

- DESCRIPCIÓN ZONA FRANCA CELSIA
- CICLO COMBINADO FLORES I
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- MARCO TEORICO
- EJECUCIÓN DE TRABAJOS
- RESULTADOS OBTENIDOS
- CONCLUSIÓN

CELSIA

UBICACIÓN PLANTA

CELSIA

UBICACIÓN PLANTA

CELSIA

RESEÑA HISTORICA

- En razón del racionamiento eléctrico ocurrido durante los años 1991 y 1992, debido a los bajos niveles de los embalses y a la indisponibilidad operacional de las plantas térmicas existentes, el gobierno nacional permitió que la empresa privada invirtiera en el sector eléctrico.

- De esta forma CORELCA, adjudicó el proyecto, llamado TERMOFLORES mediante un contrato del tipo PPA, el cual se firmó el 20 de mayo de 1993.

CELSIA

RESEÑA HISTORICA PLANTA

- Flores I entró operación comercial el 3 de noviembre del mismo año, en ciclo simple con 100 MW, y en ciclo combinado el 25 de febrero de 1995 con150 MW.

- El 28 de noviembre de 1995, se pone en servicio Flores II, en configuración de ciclo simple, con una capacidad neta de 100 MW.

- El 28 de Abril de 1998, se pone en funcionamiento Flores III con una nueva turbina de combustión Westinghouse, W501F, en configuración de ciclo simple con una capacidad neta de 150 MW.

CELSIA

RESEÑA HISTORICA PLANTA

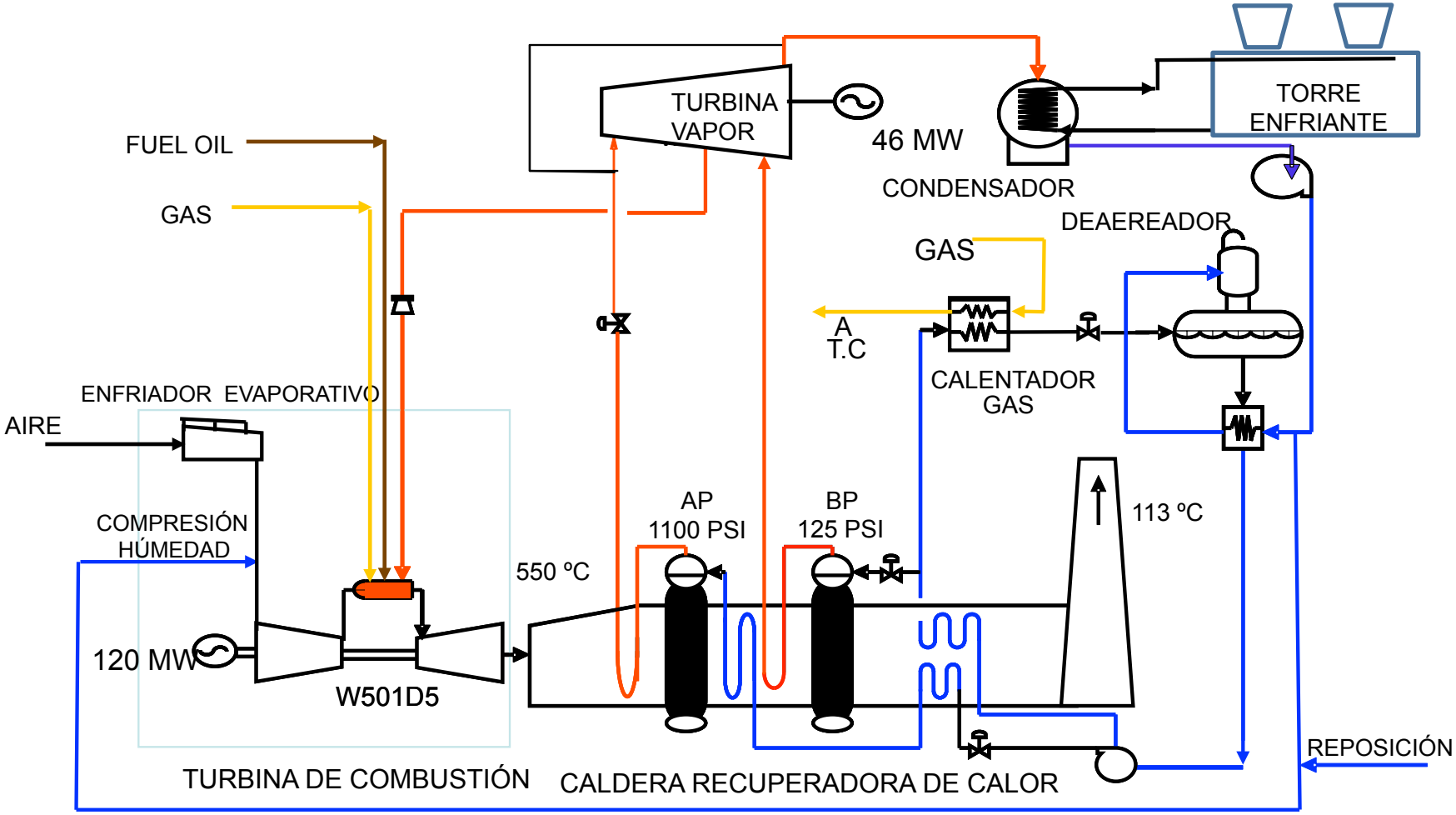
- El 28 de Febrero de 2008 se inicia el proyecto de construcción Flores IV, el cual consistió en el cierre de los ciclos simples de Flores II y Flores III en un ciclo combinado de 450 MW.

- El 12 de Agosto de 2011, entra en operación comercial el Proyecto Flores IV.

- La capacidad actual de la planta es de 610 MW.

CELSIA

FLORES I, CICLO COMBINADO DE 160 MW



CELSIA

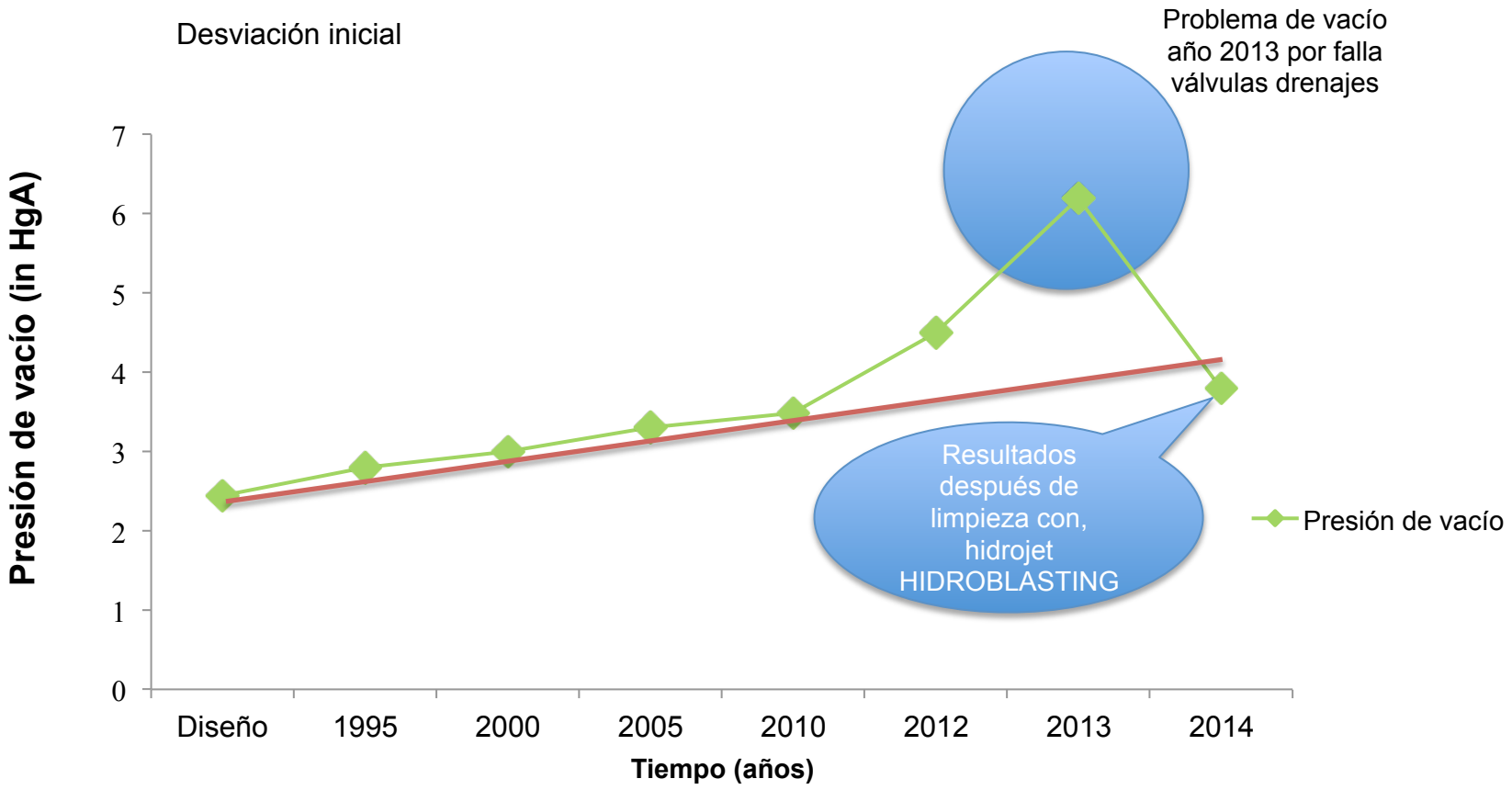
FLORES I, CICLO COMBINADO DE 160 MW

Ciclo Combinado en arreglo 1x1x1 conformado por una Turbina de Combustión (Siemens Westinghouse W501D5) de 120 MW de capacidad nominal, con quemadores duales para Gas Natural y ACPM. La eficiencia térmica es de 46.3 %, es decir un “Heat Rate” de 7375 BTU/kW

Los gases de escape de la Turbina de Combustión con una temperatura de 550 ºC, entran a una Caldera Recuperadora de Calor (HRSG) marca Zurn, que produce 440,000 lbs/hr de vapor a dos niveles de presión (1100psi/510°C y 125 psi/ 216°C), los cuales alimentan a una Turbina de Vapor (Mitsubishi) a condensación, de 48 MW de capacidad nominal.

CELSIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



CELSIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PARAMETROS	VARIABLE	DISEÑO	abr-95	jul-97	oct-97	oct-08	sep-12	oct-14
Corrección por temperatura de entrada	F1	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065
Corrección por especificaciones del tubo	F2	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Factor de ensuciamiento	F3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Cosntante de Transferencia de Calor para el Condensador	C	263	263	263	263	263	263	263
Flujo del agua enfriante en GPM	Q	45,670	43,084	42,120	42,424	35,515	35,939	36,298
Diametro interno de los tubos en pulgada	DI	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805
Numero total de tubos	N	8192	8192	8192	8192	8192	8192	8192
Area transversal de flujo por un tubo en pie cuadrado	Atubo	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534
Area total transversal de Flujo en pie cuadrsdo	At	14.477	14.477	14.477	14.477	14.477	14.477	14.477
Velocidad del agua por el interior de los tubos PIE/SEG	V	7.03	6.63	6.48	6.53	5.47	5.53	5.59
U e = F1*F2*F3*C*RAIZV	Ue =	698.0	678.0	670.3	672.8	615.5	619.2	622.3
Temperatura de entrada en ºF	t1	85.0	78.5	81.3	82.0	86.4	87.0	88.0
Temperatura de saliada en ºF	t2	101.3	96.0	100.2	102.0	98.5	105.0	104.0
Flujo masico en lbm/hr	M	22,776,610	21,486,916	21,006,149	21,157,760	17,712,094	17,923,551	18,102,787
Calor en BTU/hr	q	372,000,273	377,901,143	397,312,401	425,270,981	215,387,913	324,237,045	291,092,814
Diametro externo del tubo, pulg.	DO	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875
Longitud efectiva del tubo, ft	LE	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8
Area de transferencia de calor por tubo, ft2	Attubo	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Area Total de Transferencia de Calor en el condensador, ft2	AT	55,985	55,985	55,985	55,985	55,985	55,985	55,985
Vacio en pulgadas de mercurio	v	2.3	2.8	3.3	3.5	3.5	6.8	3.5
Temperatura de saturación al vacio del condensador, ºF	Ts	106.3	113.0	118.3	120.0	120.0	145.3	120.5
Diferencia media logaritmica de Temperaturas	MLTD	11.3	24.7	26.5	26.8	27.1	48.7	23.6
Coeficente de Transferencia de trabajo	Ut	588.6	273.0	268.3	283.8	142.0	118.8	220.3
Factor de ensuciamiento, %	FC	84.3	40.3	40.0	42.2	23.1	19.2	35.4

CELSIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

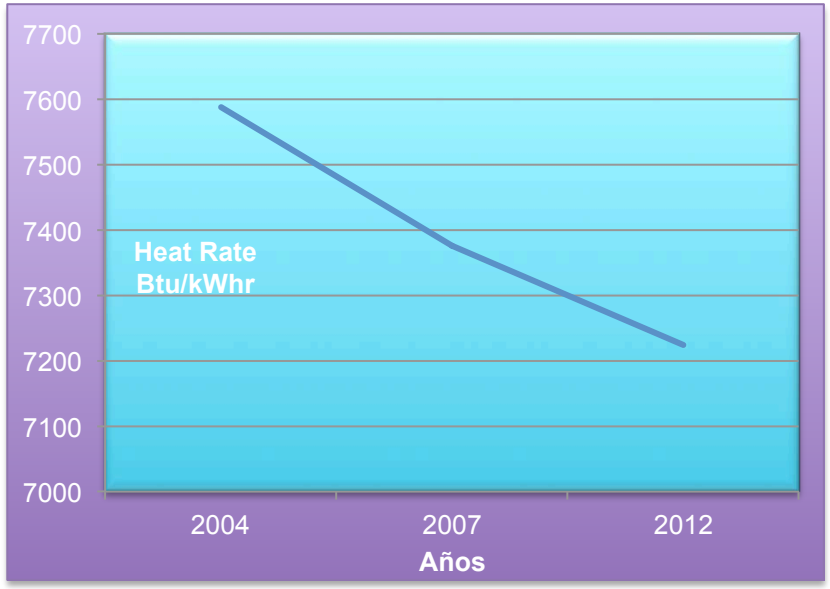
Importancia del condensador

El desempeño del condensador afecta directamente el Heat Rate de la planta.

$$HR = Q_{entra} / W_{neta} = m_{combustible} . VCI / W_{neta}$$

El rendimiento del condensador representa el 20% de la eficiencia total de un ciclo de generación eléctrica.

0.3 InHgA = 10% FC = 1% Heat Rate = 1 MW



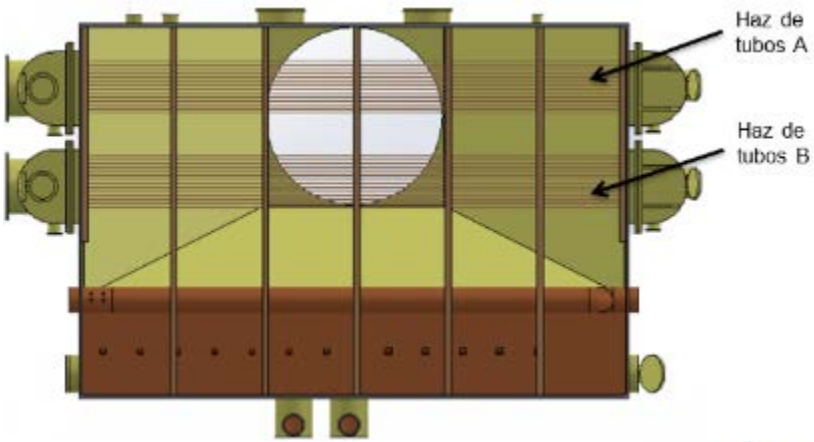
Factores que afectan el vacío del condensador

-Hermeticidad o contenido de oxígeno.
-Temperatura de entrada de agua de circulación.
-Flujo de agua de circulación.
-Ensuciamiento interior de los tubos.
-Carga del condensador.

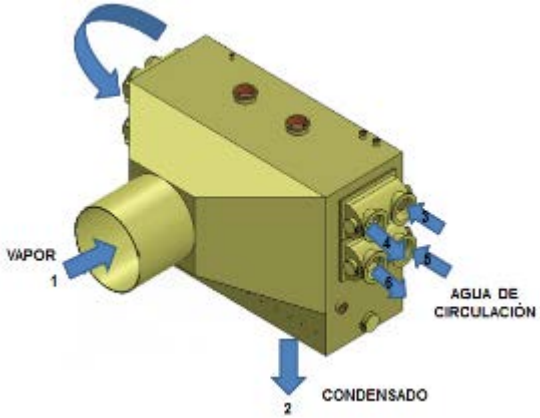
CELSIA

MARCO TEORICO

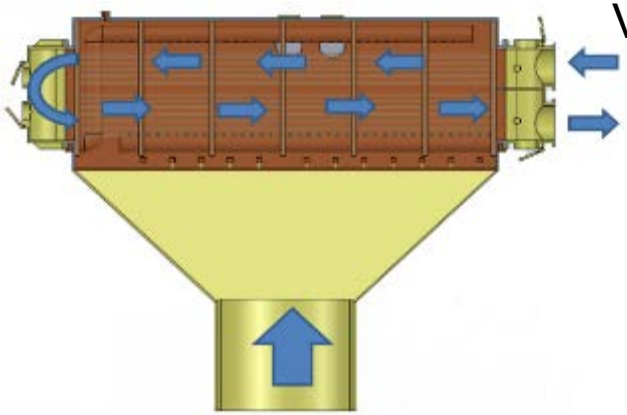
DESCRIPCIÓN DEL CONDENSADOR DE SUPERFICIE



Vista corte posterior



Vista isométrica

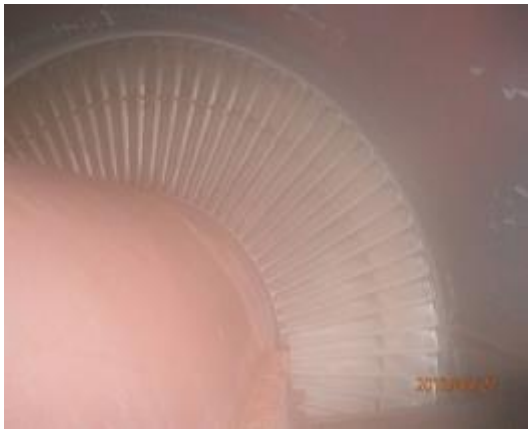


Vista corte superior

CELSIA

MARCO TEORICO

Condensador de superficie Flores I



Etapa final álabes de la turbina

CELSIA

MARCO TEORICO

Tipos de ensuciamiento en condensadores

- La formación sedimentaria
- incrustación de partículas
- Ensuciamiento microbiológico
- Macrofouling

Figure 8. Stainless steel condenser tube with calcium carbonate scale.

Figure 3. Mud and silt, particulate deposit as removed

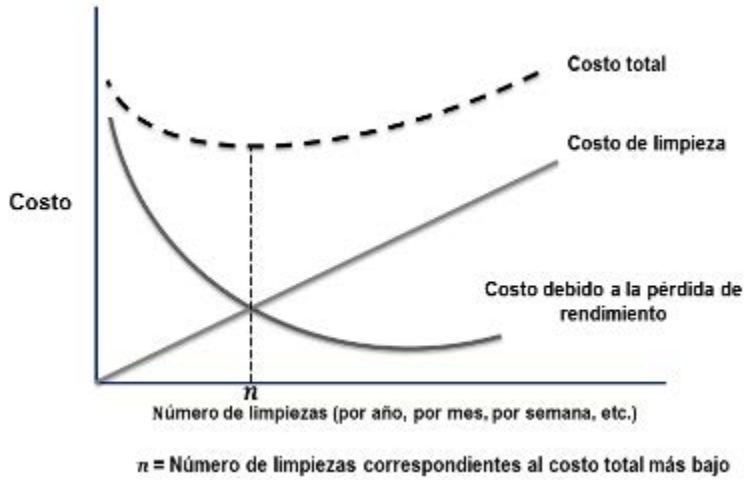
Composición de las incrustaciones

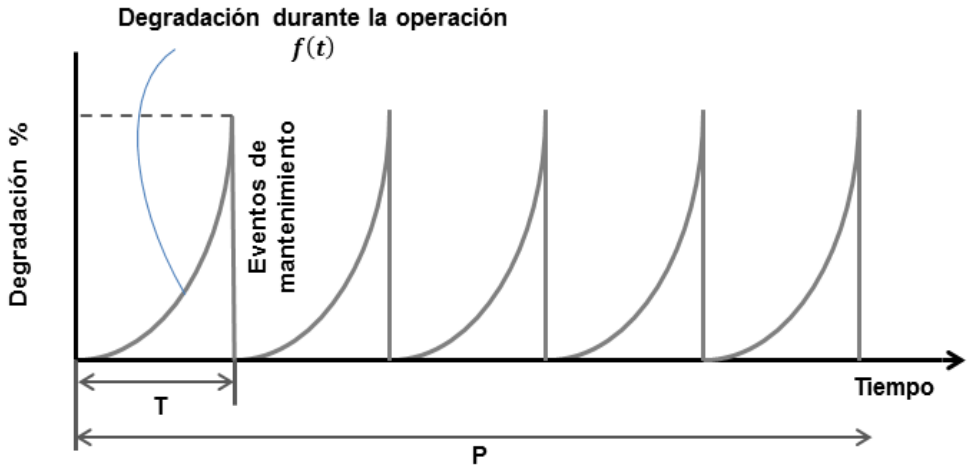
Sílice: 14.37%
Calcio: 40.33%
Magnesio: 38.95%

CELSIA

MARCO TEORICO

FRECUENCIA ÓPTIMA DE LIMPIEZA





$$Costo\ total\ de\ operación = nC + n\,V \int_0^{1/n} f(t)\,dt\,,$$

dónde:

$n = número\ de\ ciclos$

$C = costo\ de\ la\ limpieza$

$V = costo\ de\ la\ pérdida\ de\ rendimiento\ por\ ensuciamiento$

$f(t) = función\ o\ tasa\ a\ la\ cual\ se\ pierde\ rendimiento\ por\ ensuciamiento$

CELSIA

EJECUCIÓN PROYECTO

1. **Evaluación y Diagnóstico del estado termodinámico del condensador.**
   Se encontró una reducción del 56,5% en el coeficiente global de transferencia de calor con respecto a las condiciones de arranque del ciclo en el año 1995, por ensuciamiento progresivo.

2. **Revisión del diseño**.
   El coeficiente global de transferencia de calor, en el año 1995, tenia una reducción del 53,6% con respecto al diseño, porque el arreglo de los tubos es diferente, el espaciamiento de penetración del vapor, se encuentra en el lado contrario a la entrada de vapor. Tesis Edwin Baena

3. **Opciones para recuperar eficiencia en condensadores**.
   - Cambio total del condensador, 4,4 MMUS$, recupera el 100% vs diseño
   - Re-entubar el condensador, 2,5 MMUS$, recupera el 56,5% vs diseño
   - **Limpieza mecánica con limpiadores, 0,2 MMUS$ recupera el 46% vs diseño**
   - Limpieza química, opción muy agresiva dada la vida media de los tubos

CELSIA

EJECUCIÓN PROYECTO

4. **Selección mejor opción**
   Se escogió la limpieza mecánica usando la tecnología desarrollada mediante limpiadores de tubería metálicos.

5. **Elaboración de términos de referencia**
   Para definir el alcance del servicio, el cual incluyó adicionalmente la medición de corrientes Eddy en el 50% de los tubos, para definir la vida remanente de los mismo.

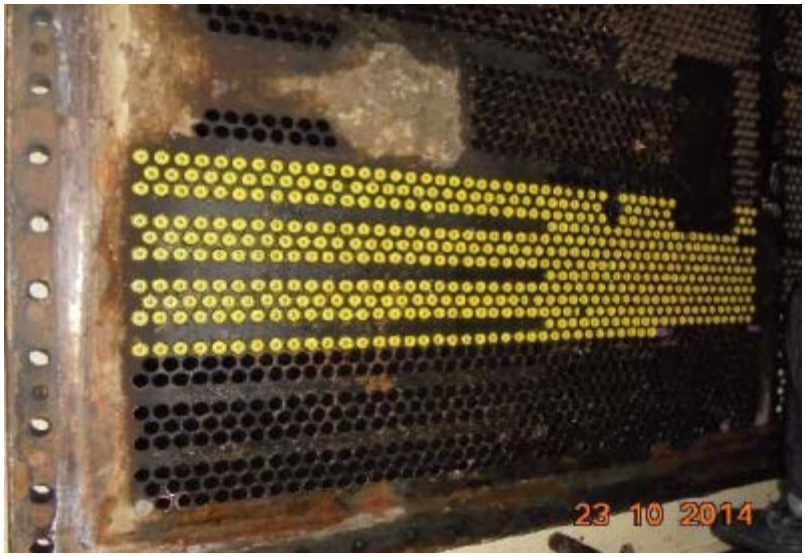
6. **Selección de la mejor oferta técnica y económica**
   Se seleccionó a la empresa con representación nacional de la tecnología de limpiadores.

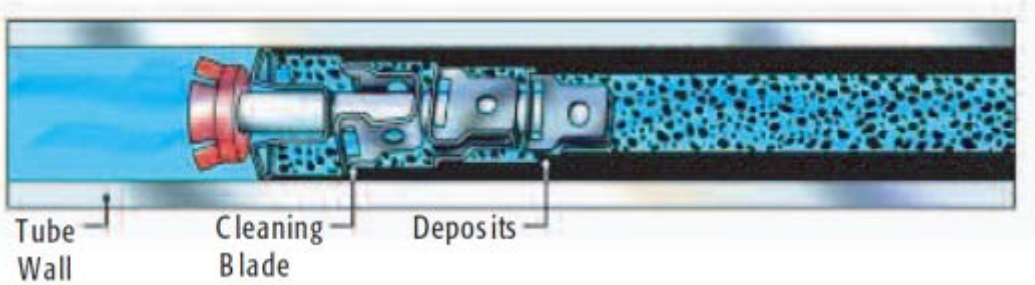
7. **Ejecución de la limpieza**
   Ver Registro Fotográfico.

CELSIA

EJECUCIÓN PROYECTO

REGISTRO FOTOGRÁFICO





Limpieza Mecánica Utilizando CAL - BUSTER, patente 5153963 de CONCO

CELSIA

EJECUCIÓN PROYECTO

REGISTRO FOTOGRÁFICO

1,600 kg de Incrustación removida en 8160 tubos limpiados

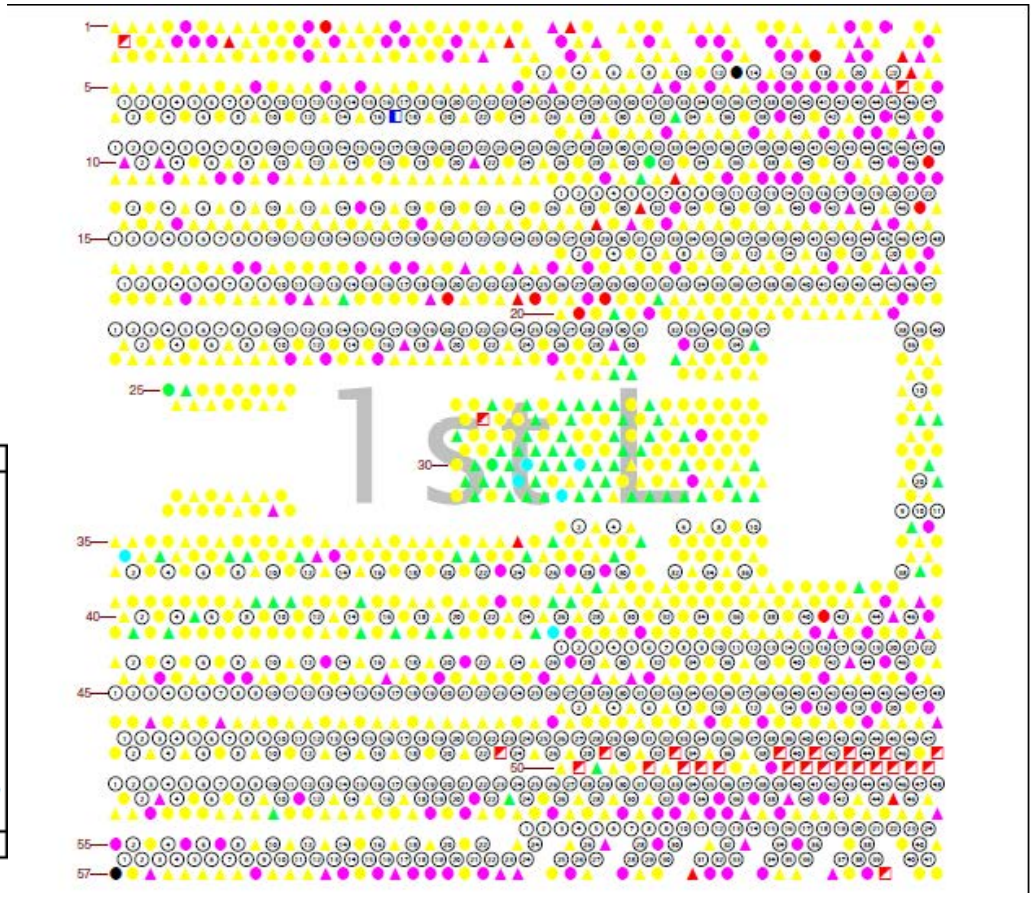
CELSIA

EJECUCIÓN PROYECTO

REGISTRO FOTOGRÁFICO

SYM	HITS	TUBES	VIS	TYPE	DESCRIPTION
	27	26	26	QUERY	OBS_CALLS.qry
	157	156	1	QUERY	RES_CALLS.qry
	6	6	6	QUERY	NDD_CALLS.qry
	0	0	0	QUERY	PVN_CALLS.qry
	0	0	0	QUERY	DNT_CALLS.qry
	4	4	3	QUERY	20-29_CALLS.qry
	159	152	98	QUERY	30-39_CALLS.qry
	834	664	449	QUERY	40-49_CALLS.qry
	702	586	488	QUERY	50-59_CALLS.qry
	186	173	161	QUERY	60-69_CALLS.qry
	54	52	51	QUERY	70-79_CALLS.qry
	10	10	9	QUERY	80-89_CALLS.qry
	12	12	12	QUERY	90-100_CALLS.qry
	2	2	2	QUERY	PLG_CALLS.qry
	2,153	1,843	1,306		

Model 1st Pass Lower (2,048 tubes)
742 open tubes



Medición Corrientes EDDY

CELSIA

RESULTADOS OBTENIDOS

Evaluación.

Costo Total, en 2014 (1.960 $/US$)	$ 377.180.881 US$ 192.440
Desviación con respecto al presupuesto	171% por calculo vida remanente
Tubos limpiados	8.160
Masa removida de incrustación, seca	1.600 kg.
Tubos evaluados con corriente Eddy	4.096
Tubos taponados, desgaste > 80%	32
Recuperación del Coeficiente de Calor	43%
Disminución del diferencial de presión	7 psi
Reducción del vacío	3,1%
Aumento de Carga Turbina de Vapor, obtenido	1,53 MWh con 112.5 MW (CT-1)
Aumento de Carga Turbina de Vapor, calculado	2,15 MWh con 116.8 MW (CT-1)
Ingreso anual por mayor eficiencia y generación	$ 1.850.000.000 US$ 770.800
RENTABILIDAD	**490%**
Vida Remanente del Condensador	5 - 7 años

CELSIA

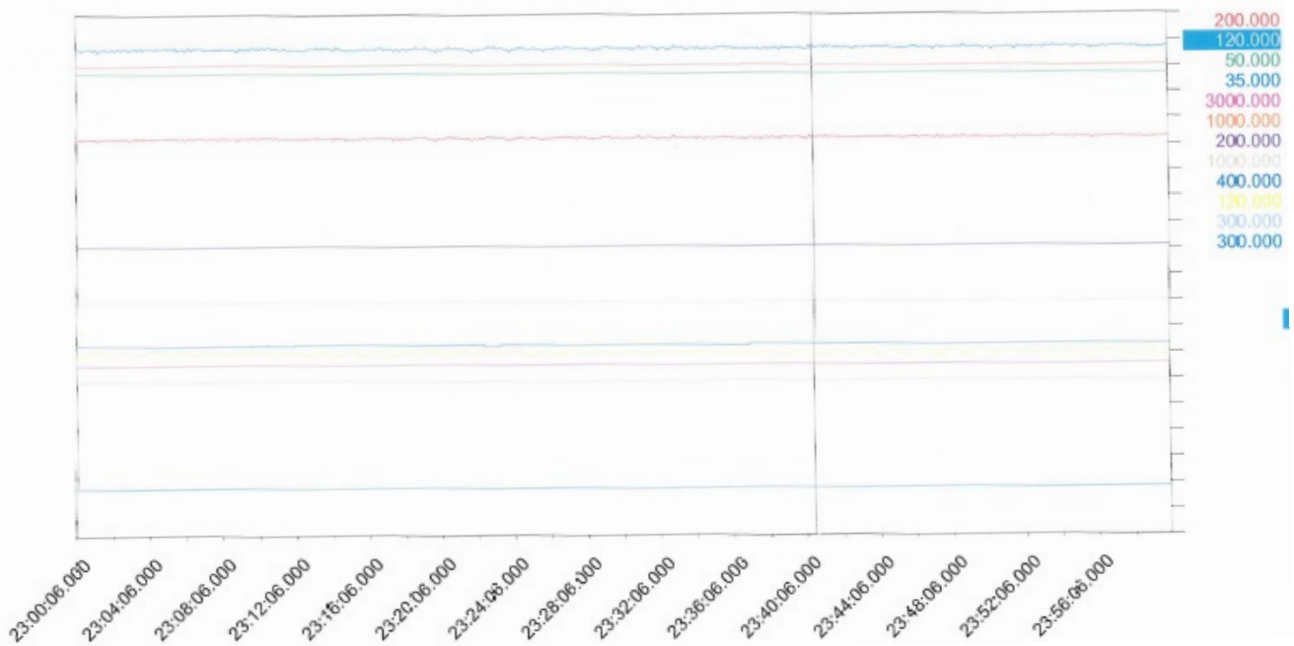
RESULTADOS OBTENIDOS

Evidencia

Carga Agosto 2014

8/28/2014 23:40:30.000

HR1-PLTNETMW.UNIT0@NET0	PLANT NET MW	153.009	MW	Scale:	200	0.000	Actual Value
CT1-1-LOAD-SELECT.UNIT0@NE	SELECTED LOAD	112.509	MW	Scale:	120	0.000	Actual Value
ST1-MW.UNIT0@NET0	MW ST	44.310	MW	Scale:	50.000	0.000	Actual Value
HR1-PT01201M.UNIT0@NET0	SELECTED CONDENSER PRESSU	3.175	INHGA	Scale:	35.000	0.000	Actual Value
ST1-PT16400S.UNIT0@NET0	SELECTED THROTTLE PRESSURE	982.864	PSIG	Scale:	3000	0.000	Actual Value
ST1-TE16400S.UNIT0@NET0	SELECT THROTTLE TEMP	950.973	DEGF	Scale:	1000	500	Actual Value
ST1-PT16402.UNIT0@NET0	INDUCTION STOP VLV INLET PRES	110.935	PSIG	Scale:	200	0.000	Actual Value
ST1-TE16402.UNIT0@NET0	INDUCT STOP VLV INLET STM TEM	448.050	DEGF	Scale:	1000	0.000	Actual Value
ST1-PT16405.UNIT0@NET0	EXTRACTION #2 STEAM PRESS	42[illegible].768	PSIG	Scale:	400	100	Actual Value
CT1-FT15910K.UNIT0@NET0	COMPENSATED STEAM INJ FLOW	42.046	KPPH	Scale:	120	0.000	Actual Value
HR1-TE03705.UNIT0@NET0	COND CIRC WTR SUPPLY TEMP	89.044	DEGF	Scale:	300	0.000	Actual Value
HR1-TE03708.UNIT0@NET0	CONDENSER B CIRC WTR DSCH T	109.922	DEGF	Scale:	300	0.000	Actual Value



CELSIA

RESULTADOS OBTENIDOS

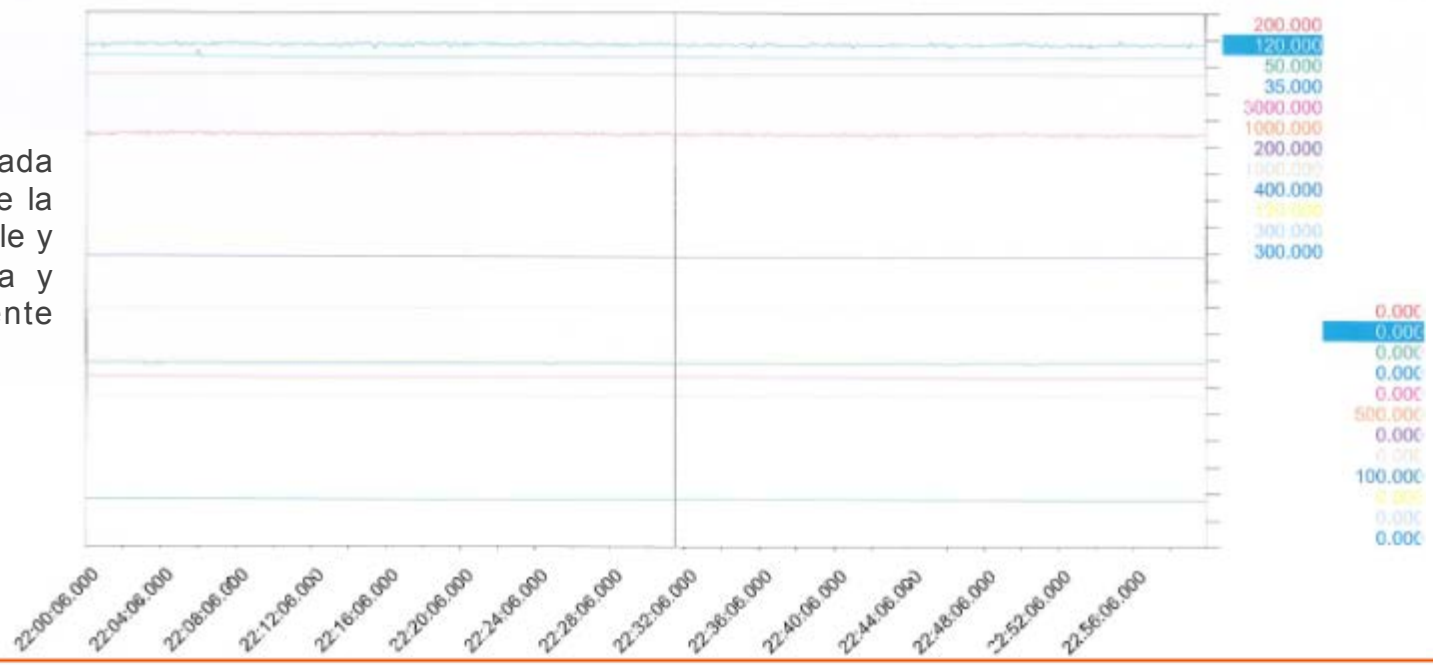
Evidencia

Carga Noviembre 2014

11/20/2014 22:31:36.000

HR1-PLTNETMW.UNIT0@NET0	PLANT NET MW	154.582	MW	Scale:	200	0.000	Actual Value
CT1-1-LOAD-SELECT.UNIT0@NE	SELECTED LOAD	112.509	MW	Scale:	120	0.000	Actual Value
ST1-MW.UNIT0@NET0	MW ST	45.840	MW	Scale:	50.000	0.000	Actual Value
HR1-PT01201M.UNIT0@NET0	SELECTED CONDENSER PRESSU	3.077	INHGA	Scale:	35.000	0.000	Actual Value
ST1-PT16400S.UNIT0@NET0	SELECTED THROTTLE PRESSURE	951.965	PSIG	Scale:	3000	0.000	Actual Value
ST1-TE16400S.UNIT0@NET0	SELECT THROTTLE TEMP	942.400	DEGF	Scale:	1000	500	Actual Value
ST1-PT16402.UNIT0@NET0	INDUCTION STOP VLV INLET PRES	108.539	PSIG	Scale:	200	0.000	Actual Value
[illegible]	[illegible]	445.829	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
ST1-PT16405.UNIT0@NET0	EXTRACTION #2 STEAM PRESS	405.899	PSIG	Scale:	400	100	Actual Value
[illegible]	[illegible]	41.959	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	84.448	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
HR1-TE03708.UNIT0@NET0	CONDENSER B CIRC WTR DSCH T	102.862	DEGF	Scale:	300	0.000	Actual Value

Comparación realizada en la misma carga de la CT-1, condición estable y con humedad relativa y temperatura ambiente similares.



CELSIA

RESULTADOS OBTENIDOS

PARAMETROS	VARIABLE	DISEÑO	abr-95	jul-97	oct-97	oct-08	sep-12	oct-13	nov-14
Corrección por temperatura de entrada	F1	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065	1.065
Corrección por especificaciones del tubo	F2	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Factor de ensuciamiento	F3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Cosntante de Transferencia de Calor para el Condensador	C	263	263	263	263	263	263	263	263
Flujo del agua enfriante en GPM	Q	45,670	43,084	42,120	42,424	35,515	35,939	36,298	42,896
Diametro interno de los tubos en pulgada	DI	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805
Numero total de tubos	N	8192	8192	8192	8192	8192	8192	8192	8192
Area transversal de flujo por un tubo en pie cuadrado	Atubo	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534	0.003534
Area total transversal de Flujo en pie cuadrsdo	At	14.477	14.477	14.477	14.477	14.477	14.477	14.477	14.477
Velocidad del agua por el interior de los tubos PIE/SEG	V	7.03	6.63	6.48	6.53	5.47	5.53	5.59	6.60
U e = F1*F2*F3*C*RAIZV	Ue =	698.0	678.0	670.3	672.8	615.5	619.2	622.3	676.5
Temperatura de entrada en ºF	t1	85.0	78.5	81.3	82.0	86.4	87.0	88.0	84.4
Temperatura de saliada en ºF	t2	101.3	96.0	100.2	102.0	98.5	105.0	104.0	101.9
Flujo masico en lbm/hr	M	22,776,610	21,486,916	21,006,149	21,157,760	17,712,094	17,923,551	18,102,787	21,393,157
Calor en BTU/hr	q	372,000,273	377,901,143	397,312,401	425,270,981	215,387,913	324,237,045	291,092,814	374,360,134
Diametro externo del tubo, pulg.	DO	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875
Longitud efectiva del tubo, ft	LE	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8
Area de transferencia de calor por tubo, ft2	Attubo	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Area Total de Transferencia de Calor en el condensador, ft2	AT	55,985	55,985	55,985	55,985	55,985	55,985	55,985	55,985
Vacio en pulgadas de mercurio	v	2.3	2.8	3.3	3.5	3.5	6.8	3.5	3.0
Temperatura de saturación al vacio del condensador, ºF	Ts	106.3	113.0	118.3	120.0	120.0	145.3	120.5	114.9
Diferencia media logaritmica de Temperaturas	MLTD	11.3	24.7	26.5	26.8	27.1	48.7	23.6	20.5
Coeficente de Transferencia de trabajo	Ut	588.6	273.0	268.3	283.8	142.0	118.8	220.3	325.7
Factor de ensuciamiento, %	FC	84.3	40.3	40.0	42.2	23.1	19.2	35.4	48.1

CELSIA

CONCLUSIÓN

1. Con la limpieza mecánica realiza, aplicando la tecnología Limpiadores, se logró obtener un rendimiento del condensador, mejor que el obtenido en los primeros 3 meses de operación, del mismo.
2. La turbina de vapor recuperó 1.53 MW (44.31 vs 45.84)
3. Con 19 años de operación de condensador se estableció una vida remanente del mismo entre 5 y 7 años

CELSIA

Gracias

GERJAN BERMEJO ROLONG

Gestión Técnica

ZONA FRANCA CELSIA S.A. ESP.

www.celsia.com

Una empresa del Grupo Argos

CELSIA