

MODIFICACION AL SISTEMA DE REFRIGERACION ASEGURADA DE AGUA DE RIO

ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE
COMBUSTIBLE

Alumno: GATES, Walter S.
Director: BACHOER, Mauricio G.

Mes y año: Noviembre 2014



Comisión Nacional
de Energía Atómica



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

A su paciencia y comprensión, prefirieron sacrificar su tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por su bondad y sacrificio me inspiraron a ser mejor para ustedes, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ustedes, gracias por estar siempre a mi lado.

Verónica y Victoria

Índice

Índice	3
Resumen	5
Abstract	6
CAPITULO I	7
Descripción	7
1.2 Instalación de bomba y accesorios en edificio de CNA II UPD	9
1.3 Bomba.....	12
1.4 Tendido de cañería entre UPD y Casa de máquinas CNA I.....	12
CAPITULO II	14
Instalación de componentes de campo	14
2. Instalación de motor eléctrico y su alimentación eléctrica.(Coincidente con el proyecto del EPS).....	14
2.1 Motor eléctrico	14
2.1.1 Alimentación eléctrica	15
2.2 Instalación de señales de mando y señalización. (Coincidente con el proyecto del EPS).....	16
2.2.1 Mando de la bomba (en armarios HA)	16
2.2.2 Señalizaciones y alarmas.....	19
2.3 Instalación de señales de enclavamientos y alarmas. (Coincidente con el proyecto del EPS).....	19
2.3.1 Enclavamientos	19
2.3.2 Alarma	20
CAPITULO III	24
Consideraciones Operativas	24
3. Consideraciones Operativas	24
CAPITULO IV	26
Pérdida del Sistema UK por fallas propias.....	26
Pérdida del Sistema UK por fallas propias.....	27
Principales contribuciones al evento iniciante.....	30



CAPITULO V.....	34
Pérdida del Sistema UK por fallas del Suministro Eléctrico	34
Análisis de Suministro Eléctrico Actual y Futuro como soporte del.....	34
Sistema UK.....	34
Suministro Eléctrico Actual.....	34
Suministro Eléctrico Futuro	35
Comparación entre el Suministro Eléctrico Actual y Futuro del Sistema UK	36
Análisis del modo de operación en la configuración futura.....	38
Premisas del análisis.....	38
Contribuciones a la pérdida del Sistema UK	39
CAPITULO VI.....	41
Pérdida del Sistema UK por eventos externos	41
Inundaciones y Bajantes.....	41
Niveles de Inundaciones y Bajantes	41
Respuesta del Sistema UK ante inundaciones y bajantes	42
Sismos y tornados.....	43
CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS.....	46

Resumen

El objetivo principal de la instalación de una 4ª bomba UK, hace hincapié en poder cubrir los siguientes incidentes operacionales:

- Bloqueo del canal de entrada a casa de bombas CNA I
- Indisponibilidad de casa de bombas
- Avería de colector común en la impulsión de las tres bombas UK
- Avería o indisponibilidad de las cañerías de subida en la barranca de CNA I.

En el presente informe se detallan las tareas necesarias para implementar la modificación, que consiste básicamente en las siguientes partes:

- Instalación de bomba y accesorios en edificio de CNA II UPD
- Tendido de cañería entre UPD y Casa de máquinas CNA I
- Instalación de motor eléctrico y su alimentación eléctrica. (Coincidente con el proyecto del EPS)
- Instalación de señales de mando y señalización. (Coincidente con el proyecto del EPS)
- Instalación de señales de enclavamientos y alarmas. (Coincidente con el proyecto del EPS)



Abstract

The main objective of the installation of a pump 4 UK at emphasizes encompass the following operational occurrences:

- Lock input channel to pump's house in CNA I .
- Unavailability of pump's house.
- Breakdown common collector drive three pumps UK.
- Failure or unavailability of pipes rise in Canyon CNA I.

This report details the tasks required to implement the change, which basically consists of the following parts:

- Installation of pump and accessories for building CNA II UPD
- Laying of pipe between UPD and CNA I Roundhouse
- Installation of electrical and engine power. (Coincident with the EPS project)
- Installation of signals control and signage. (Coincident with the EPS project)
- Installation of interlocks signs and alarms. (Coincident with the EPS project)

CAPITULO I

Descripción

En el proyecto de la CNA II, se incluyó la instalación de una bomba en el edificio UPD para funcionar como la 4° bomba de refrigeración asegurada de agua de río de la unidad 1.

Dicha bomba aumenta la seguridad de la unidad 1 disminuyendo la probabilidad de falla del sistema UK. Pues tiene un margen de operación de +2,7 metros más en caso de creciente y -1.45 más en caso de bajante que las 3 bombas actuales, ya que admite +8.7 metros para crecientes y -3,20 metros para bajantes del río Paraná de las Palmas. (Ver imagen 1).

Cabe destacar que el sistema actual consta con una cota máxima de +6.00 metros y una cota mínima de -1,75 metros. (Ver imagen 2).

También existe una separación real de redundancias, por unirse la cañería de descarga de la bomba con el sistema UK en sala de máquinas.

Es decir, que se puede sacar de servicio una de las tres cañerías de subida sin comprometer por esto, la disponibilidad ni la seguridad de la planta.

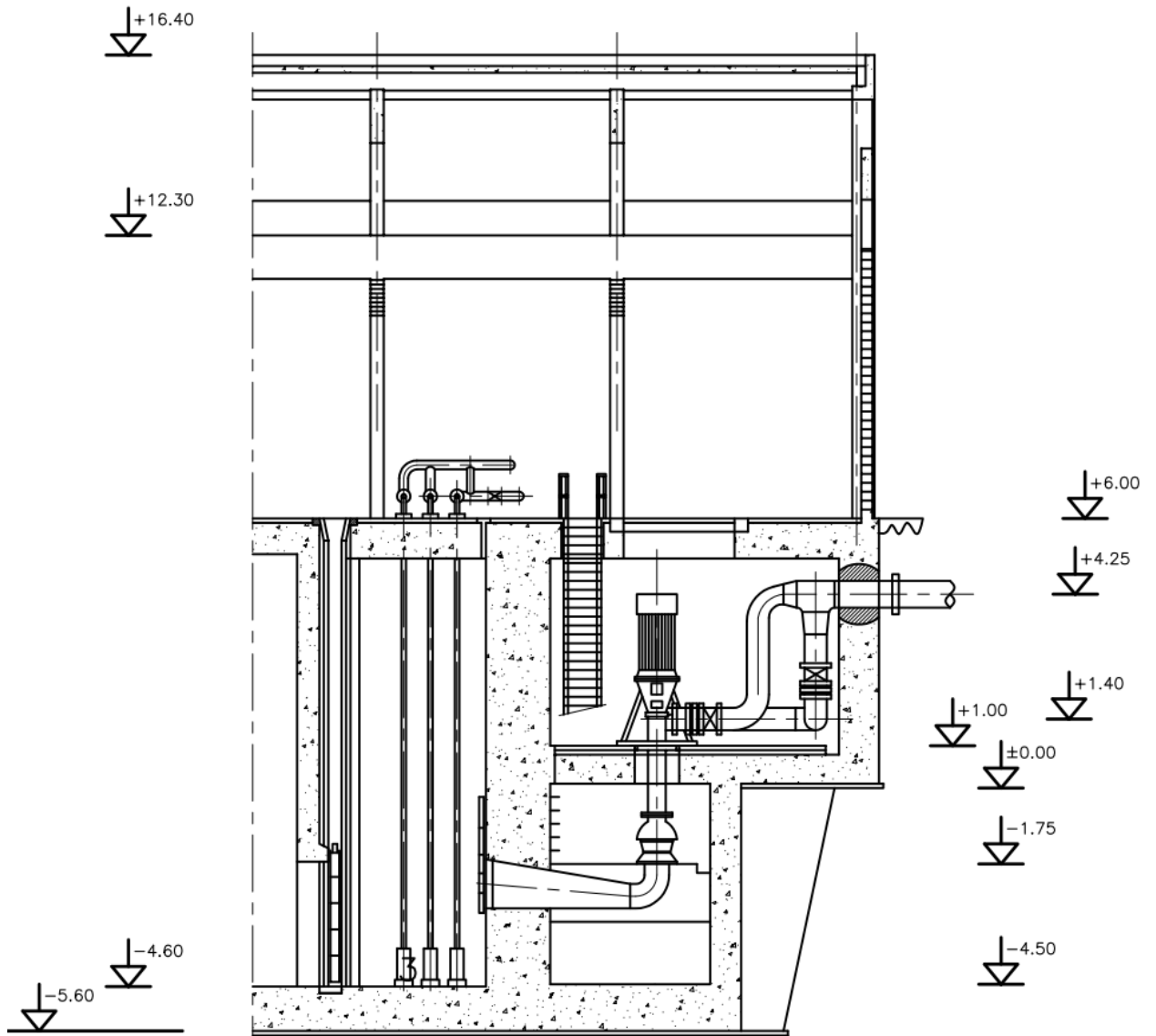


Imagen 1

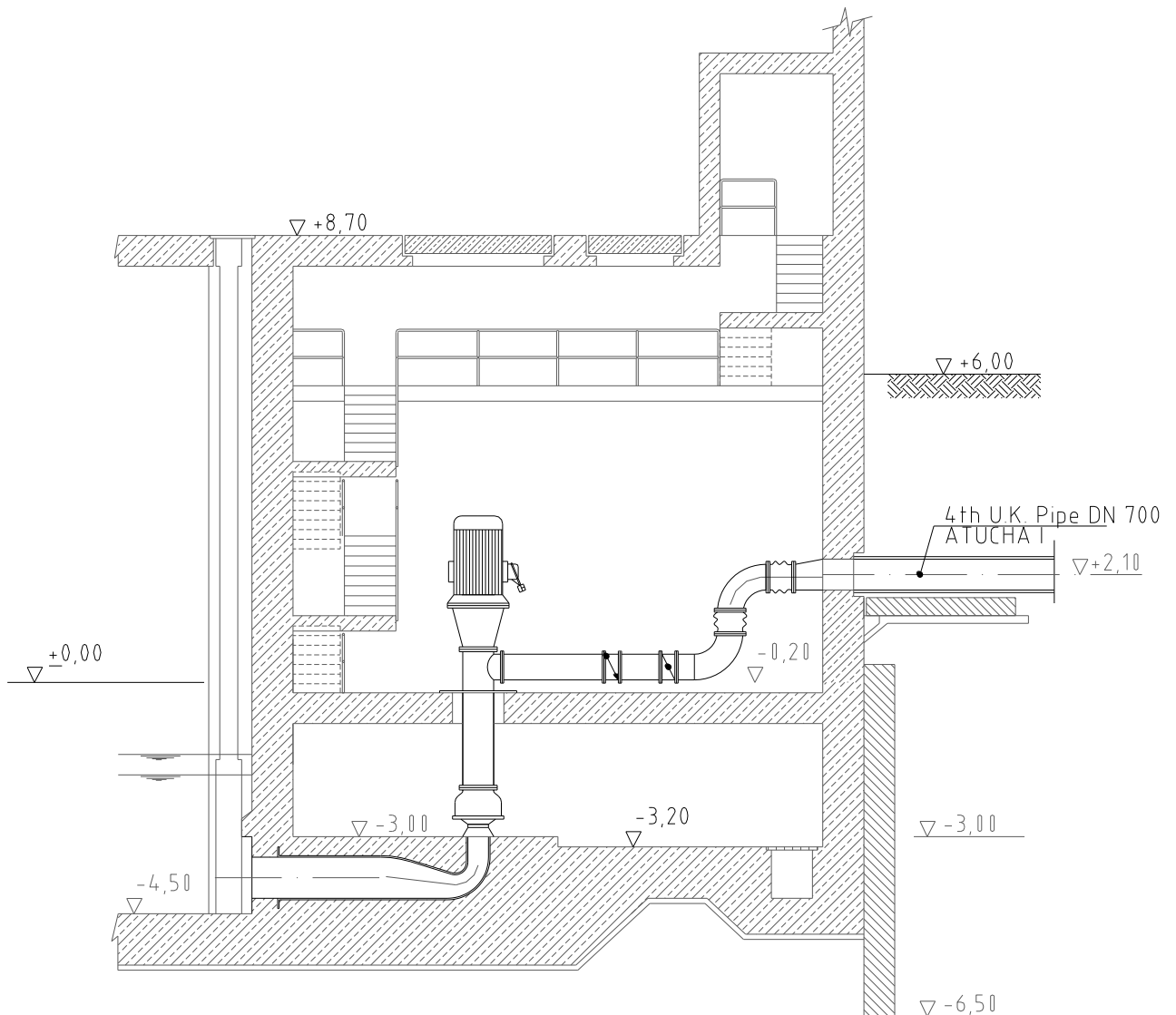


Imagen 2

1.2 Instalación de bomba y accesorios en edificio de CNA II UPD

La potencia requerida por la bomba es ligeramente superior, 307 kW para el nivel -3,20 m en el río y de 320 kW para +8.7 m.

En la imagen 3, se puede observar como quedara la instalación de la 4ª bomba al sistema actual.

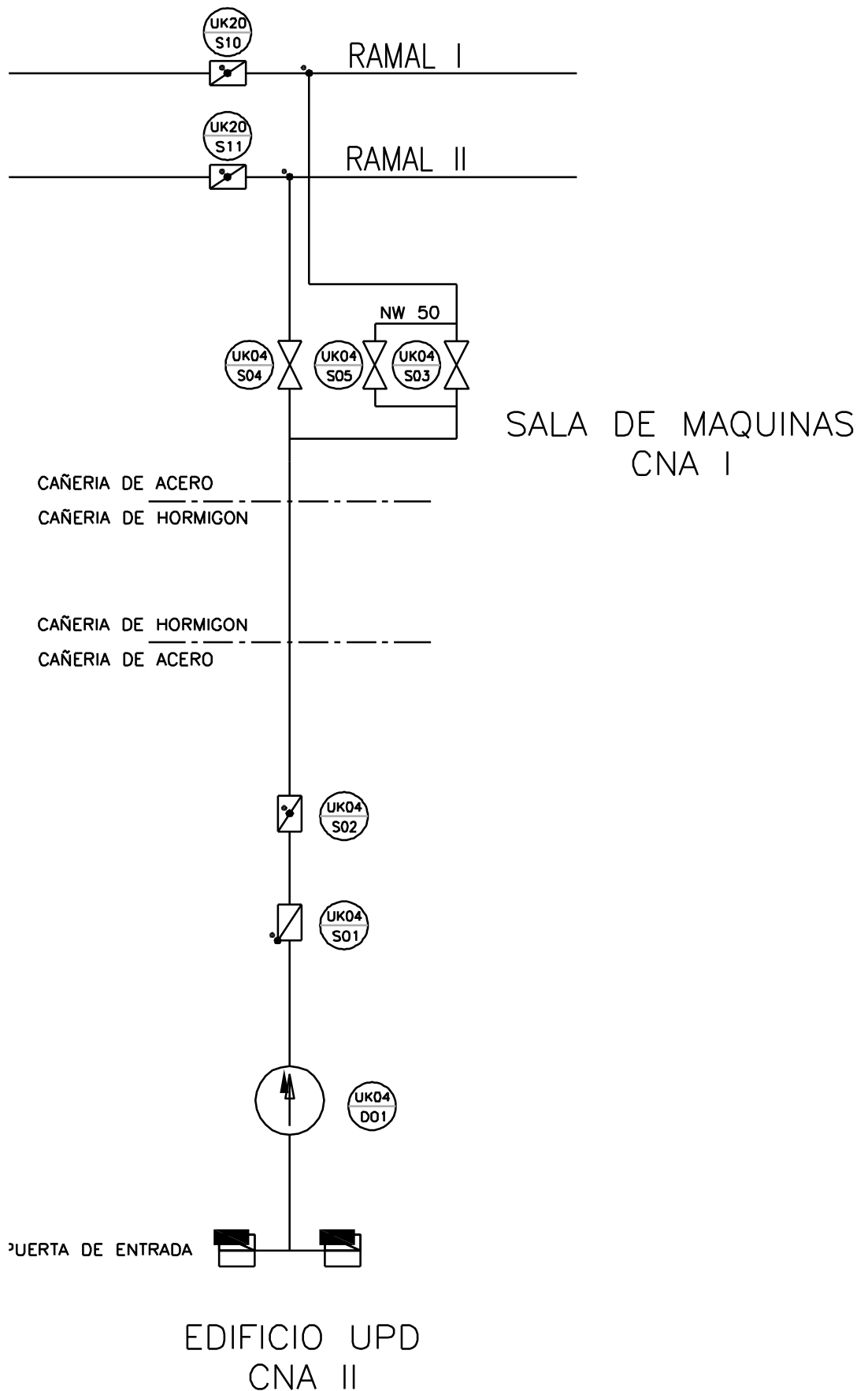


Imagen 3

En la imagen 4 se observa el P&I del sistema de la 4º UK.

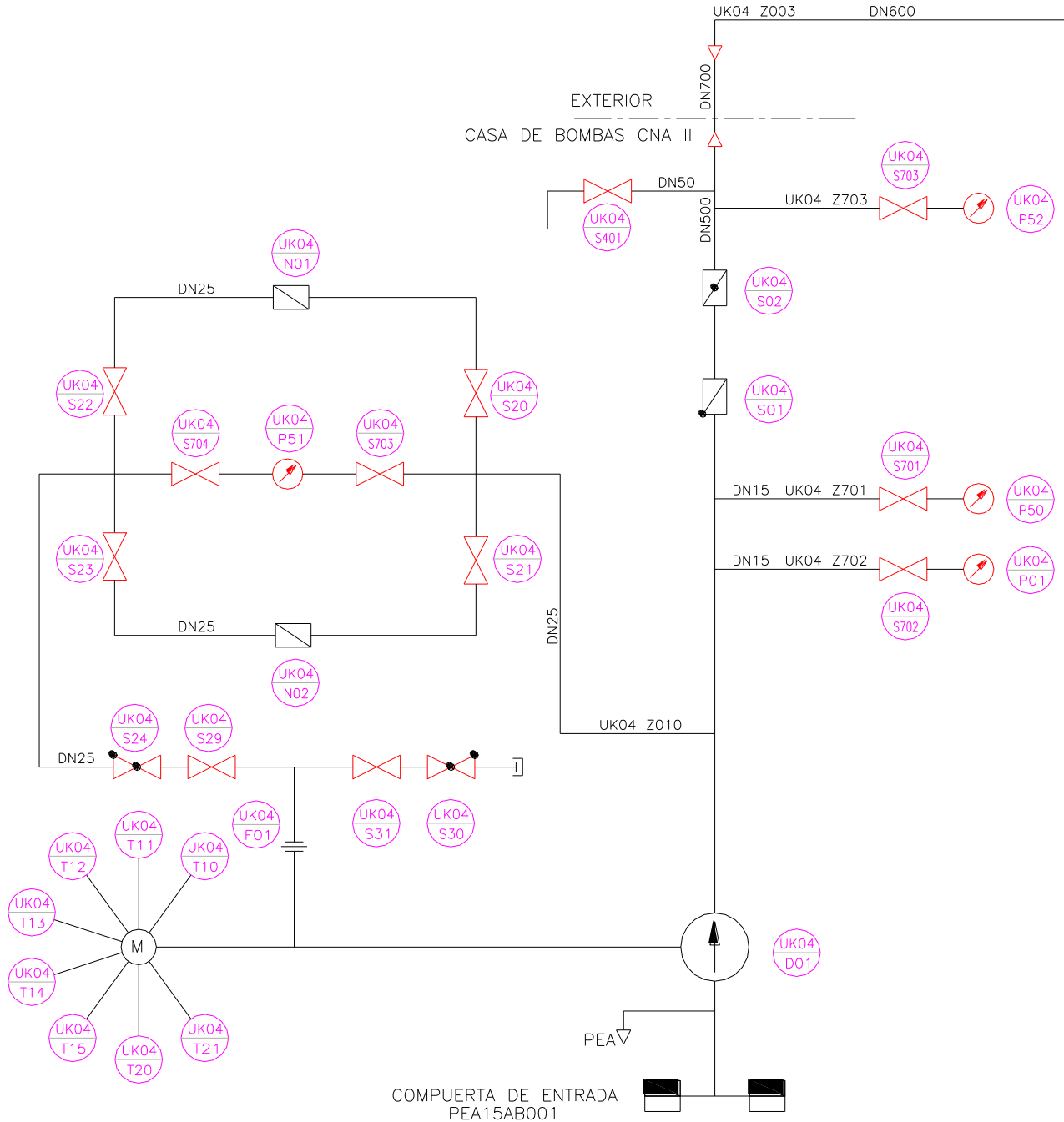


Imagen 4

La instrumentación que se instalara en el edificio UPD CNA II, serán los siguientes:

- Indicación de posición (ON/OFF) de válvula UK04S01.
- Indicación de posición (ON/OFF) de válvula UK04S02.
- Temperatura de devanados del motor UK04T10/11/12/13/14/15.
- Caudal de refrigeración de agua de sello UK04F01.
- Manómetro diferencial de refrigeración de agua de sello UK04P51.
- Manómetro de presión en la impulsión UK04P50.
- Transmisor de presión absoluta en la impulsión UK04P01.

1.3 Bomba /Ref. 1/

La bomba es de marca KSB, modelo SLZ 500-60. Estas bombas de forma tubular con rodete helicoidal, se caracterizan por su rodete impulsor semiaxial de ejecución abierta o cerrada y por el difusor axial que llevan a continuación. Son apropiadas para la colocación húmeda o en seco y tiene un eje vertical. Como normalmente el rodete va sumergido dentro del agua, esta bomba no precisa de ninguna instalación de aireación.

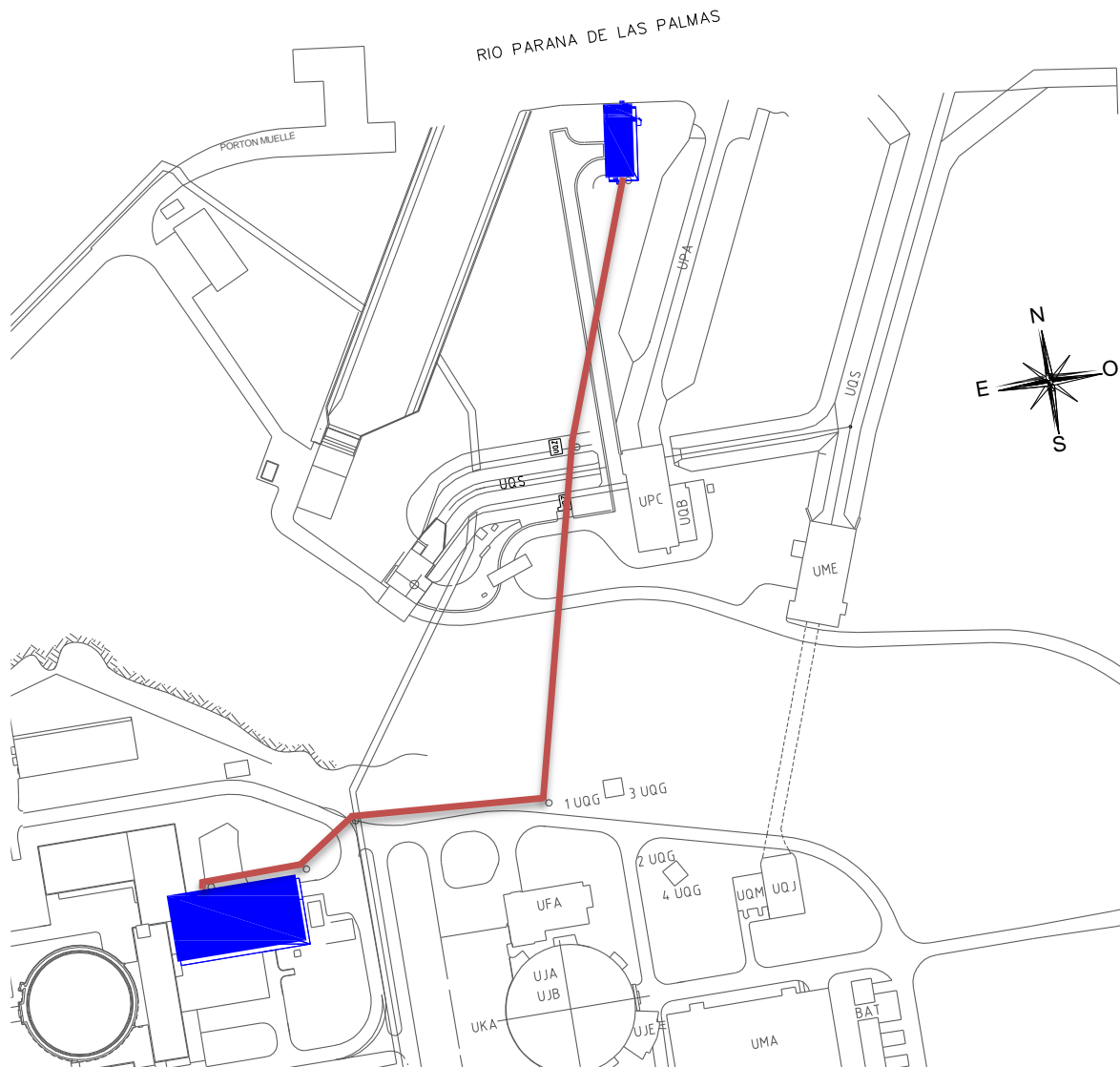
- Suministrador: KSB
- Tipo: SLZ 500/60
- Tipo de montaje: Vertical de carcasa tubular
- Números de etapas: 1
- Clase: Helicoidal
- Tensión: 6,6 kV
- Potencia: 320 kW
- Impulsor semiaxial
- Cojinete inferior de fricción lubricado por el medio
- Rodamiento superior lubricado por grasa

1.4 Tendido de cañería entre UPD y Casa de máquinas CNA I

La tubería de hormigón corre desde el extremo sur del edificio UPD de CNA II, paralela a las tuberías del sistema PEB en dirección al canal de caños UQZ. Cruza por este bajo el canal de descarga UQS y sube la barraca para, una vez arriba, dirigirse hacia el edificio de sala de máquinas de CNA I.

En este punto, por ser el trazado más corto y conveniente, se cruza por sobre la pasarela de la pileta efecto sifón con cañería de acero, para finalmente penetrar en el edificio de sala de máquinas y acoplarse a las cañerías existentes de las bombas UK.

El recorrido total de esta tubería es de 500 m.



El recorrido se realiza prácticamente sin interferencias y el conexionado dentro del edificio se puede realizar sin necesidad de interrumpir el funcionamiento de la planta. Esta solución brinda una tubería adicional y totalmente independiente hasta el edificio de sala de máquinas de CNA I, además con la ventaja de estar colocada en la barranca adecuadamente perfilada de CNA II.

CAPITULO II

Instalación de componentes de campo

2. Instalación de motor eléctrico y su alimentación eléctrica.(Coincidente con el proyecto del EPS en CNA I)

2.1 Motor eléctrico /Ref. 2/

Para el dimensionamiento del motor se ha asumido que la carga es una bomba centrífuga de una etapa con característica de par resistente cuadrática. A su vez, se ha asumido que la potencia indicada en el requerimiento es la absorbida por la bomba en su punto de operación a 50Hz (aprox. 1000rpm) y que el momento de inercia total de la misma, referido al eje del motor correspondientes es $J_{load} \leq 510 \text{ kg.m}^2$.

El motor ofrecido es unidireccional con sentido de giro horario (CW) y posee su caja de bornes principal ubicada a la derecha, visto desde Lado A (DE); pero es posible fabricarlo con sentido de giro anti-horario y/o con la caja de bornes principal a la izquierda, manteniendo el resto de sus características y costos.

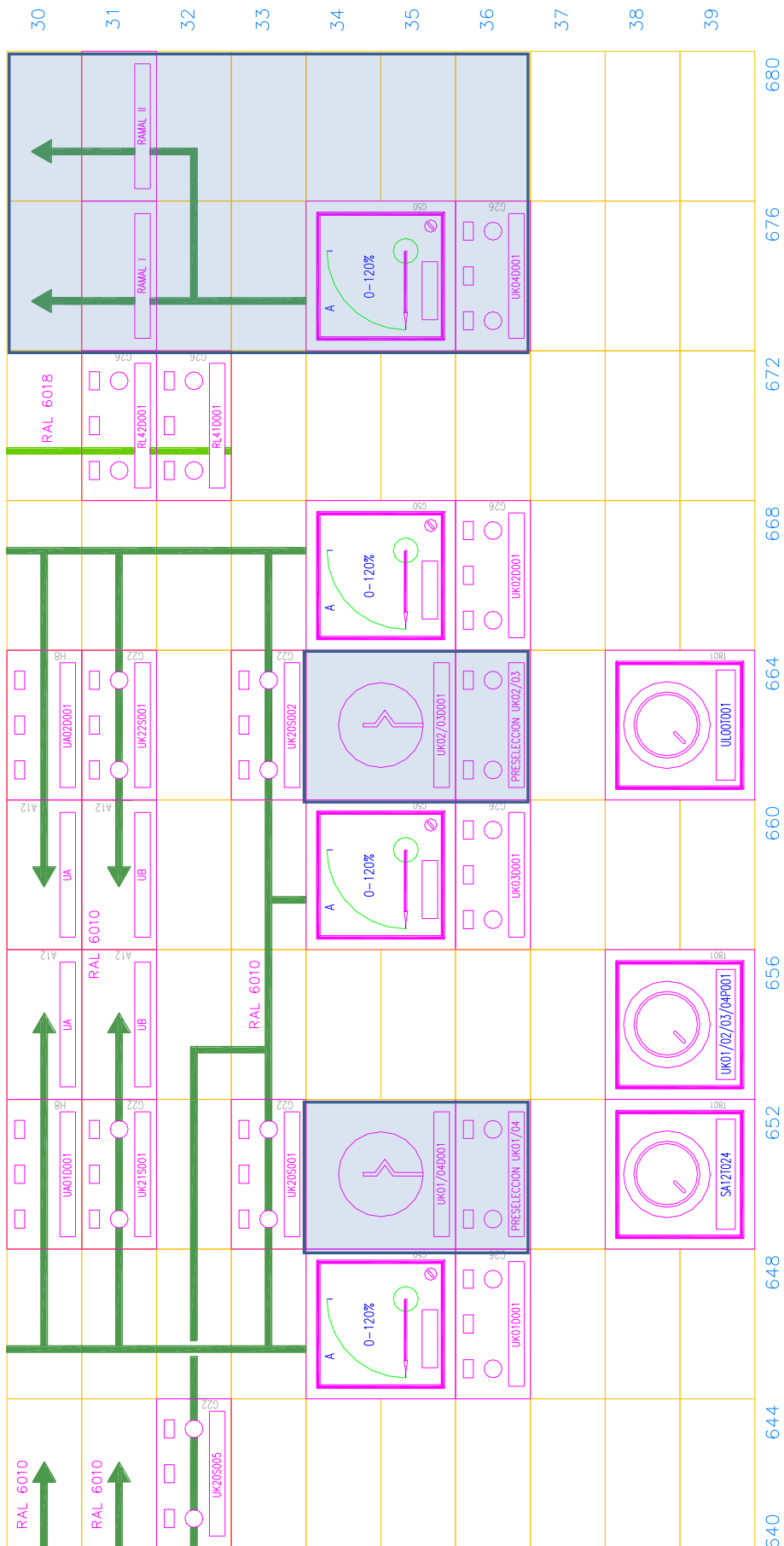
Tipo de motor	Motor asincrónico trifásico con rotor jaula de ardilla				
Potencia nominal P_N	395 kW				
Tensión de alimentación nominal U_N	6.6 kV \pm 5 % (IEC 60034-1)				
Frecuencia de alimentación nominal f_N	50 Hz \pm 2 %				
Velocidad nominal n_N	991 1/min				
Cantidad de polos	6				
Rated torque M_N	3808 Nm				
Corriente nominal I_A	45 A				
Norma de aplicación en cuanto a la eficiencia	IEC 60034-2-1 (2007)				
Cargas parciales P/P _N	5/4	4/4	3/4	2/4	
Eficiencia η	95	95.4	95.4	95	%
Factor de potencia $\cos \phi$	0.83	0.81	0.77	0.67	
Tipo de rotor	jaula de ardilla				
Protección para atmósferas potencialmente explosivas Ex	No posee				
Grado de protección mecánica	IP55				
Forma constructiva	IM V1 (vertical, eje hacia abajo, con brida estándar)				
Tipo de refrigeración	IC 411				
Temperatura ambiente	45 °C				
Altitud sobre el nivel del mar	< 1000 m				
Sistema de aislación	MICALASTIC - VPI				
Clase térmica de la aislación	Clase F aprovechada con salto térmico de la Clase B				
Corriente a rotor bloqueado/Corriente nominal I_A/I_N	5.9				
Torque a rotor bloqueado / Torque nominal M_A/M_N	1.33				
Torque máximo/ Torque nominal M_K/M_N	2.56				
Momento de inercia					
Propio del rotor J_{mot}	15 kg*m ²				
Externo máximo admisible J_{fremd}	841 kg*m ²				
De la carga a accionar J_{load}	510 kg*m ²				
Tipo de servicio	S1				
Cantidad de arranques consecutivos admisible, en frío/en caliente	3 / 2				
Configuración del circuito estático	Estrella				
Material de la jaula rotórica	Aluminio				
Carga dinámica sobre la fundación	49.6 kNm				
Tipo de rodamientos	Rodamientos de bolas / rodillos				
Nomenclatura de los rodamientos D.E./N.D.E.	7224 B + 6224 C3 / 6220 C3				
Sentido de rotación	Horario (CW)				
Nivel de ruido	71 dB(A) (Tolerancia +3 dB(A)), en vacío				
Acabado superficial	Estándar para instalación al aire libre, color RAL 7030				
Pesos Total/ del rotor	2900 kg / 780 kg				
Normas de aplicación	Acc. to IEC/EN/ISO				

Se ha incluido como accesorio la inter-construcción en devanado estático de 6 termistores PTC para sensado de la temperatura. Es posible sustituir dichos termistores por termorresistencias Pt100, manteniéndose el resto de las características técnicas del motor. No es posible, sin embargo, la colocación simultánea de ambos tipos de dispositivos de supervisión de la temperatura del motor.

2.1.1 Alimentación eléctrica

La alimentación eléctrica de potencia se realizara desde la barra BU (6,6 kV) ubicada en el edificio del EPS de la unidad 1, la celda a utilizar será la BU-06 (Ref. 9).

En la imagen 5, se puede observar el esquema unifilar de la 4º UK conectada desde la barra BU.



- La tarjeta de mando será con tecnología SIMATIC P y estará ubicada en el armario HA a definir en la ingeniería de detalle.

2.2.2 Señalizaciones y alarmas

Para la operación de la bomba se hace necesario disponer en sala de control de CNA I de las siguientes señalizaciones.

Señalización:

- Potencia consumida por la bomba, indicando en % de corriente.
- Indicación luminosa por funcionamiento de 2 bombas alimentadas desde la misma redundancia.
- Presión en la impulsión UK04P01

❗ IMPORTANTE: Cabe destacar que actualmente en sala de control, la instrumentación analógica es del rango de 0 mA a 20 mA, con lo cual no es compatible con las señales de la celda perteneciente al EPS (MI 55/07), la cual es del rango de 4 mA a 20 mA.

Como posibles soluciones se plantearon:

- La instalación de un módulo de conversión en sala de regulaciones, de modo de traducir la señal de 4/20 mA a una señal de 0/20 mA.
- Tratar la señal de corriente mediante tecnología Iskamatic.
- La adaptación de los instrumentos actuales corrigiéndoles las escalas, de modo de obtener la indicación acorde a los niveles de corrientes provenientes del EPS.
- Reemplazo del indicador en caso de no ser factibles las opciones anteriores.

Finalmente se decidió por la instalación de un módulo de conversión en sala de regulaciones, de modo de traducir la señal de 4/20 mA a una señal de 0/20 mA.

2.3 Instalación de señales de enclavamientos y alarmas. (Coincidente con el proyecto del EPS)

2.3.1 Enclavamientos

Se propone modificar el enclavamiento actual de manera que la selección de las bombas en servicio sean realizadas por una tarjeta G21A para UK01D001 y UK04D001 por un lado, y otra G21A para UK02D001 y UK03D001 por el otro (desde este punto de vista operarán con como 2 trenes independientes).

Se modificarán además los enclavamientos de Simatic para que en caso de falla de ambas bombas alimentadas desde una misma barra se produzca el arranque de ambas bombas alimentadas desde la otra barra, siempre que en esta última no exista falla del suministro normal.

Operación normal (sin EPSI en ninguna barra)

- a- Modo preferencial: Se operará con una bomba alimentada desde la barra BU y con otra desde la barra BV (se sugiere usar UK01D001 y UK03D001 por un lado, y UK02D001 y UK04D001 por el otro). En caso de falla de la bomba en servicio se conmuta en forma automática a la otra bomba alimentada desde la misma barra.
- b- Modo alternativo: 2 bombas operando alimentadas desde la misma barra por acción manual, o en forma automática por falla de ambas bombas alimentadas desde la misma barra.

EPSI en una sola barra.

Se operará con una bomba en cada barra, con la desconexión temporal de la bomba alimentada desde la barra afectada y su posterior reconexión con el programa de carga del diesel. En caso de falla de ambas bombas de la barra afectada, se operará con 2 bombas sobre la barra sin falla del suministro normal (conmutación automática).

EPSI en ambas barras.

- a- Se producirá la parada de ambas bombas y la reconexión de una bomba en cada barra por el programa de carga de cada diesel. Dado que el re arranque está previsto en el paso 1 (tiempo máximo de ejecución de 17"), el sistema volverá a operar en forma normal luego de este lapso.
- b- Si sólo se recupera tensión en un tren, quedará una sola bomba en servicio y se producirá reducción de consumos a los 60" de iniciada la falla.

Con lo cual se asegura que en cualquier tipo de condición quede en servicio al menos una bomba UK, produciéndose en este caso una reducción de consumos (tal cual funciona el sistema en la actualidad).

2.3.2 Alarma

Debido a que el operador pueda tener mayor noción de lo que está ocurriendo en una casa de bombas que pertenece a otra unidad, requiere tener información del estado de dicha casa de bombas, es por eso que la bomba UK04 D01 (AKZ designado), posee más alarmas e indicaciones que las otras tres bombas que actualmente se encuentran operativas.

Es por eso que se listan las siguientes alarmas e indicaciones.

- Indicación de presión de impulsión medida UK04 P01<MIN (Ver imagen 8)
- Señal colectiva UK04D01xA41 (Ver imagen 6) compuesta por:
 - Posición de válvula mariposa en la impulsión UK04 S02, para tal señalización se deberá instalar fines de carreras en la válvula.
 - Posición de válvula clapeta en la impulsión UK04 S01, para tal señalización se deberá instalar fines de carreras en la válvula.
 - Sumidero perturbado BLL66 GS001xG01
 - Temperatura del motor UK04 T10/11/12/13/14/15XG01
- Indicación de falta de H2O refrigeración de sello (Ver imagen 7)

		BOMBA REF. ASEGURADA	APAGADA	UK04	D01	XB02	1	BBXXX:ZX
		VLV UK04 S01 CLAPETA	NO CERRADA	UK04	G001	XG52	2	BBXXX:BX
							3	
							4	
							5	
							6	
							7	
							8	
							9	
							10	
							11	
							12	
							13	
							14	
							15	
							16	
							17	
							18	
							19	
							20	
						21		
						22		
						23		
						24		
						25		
						26		
						27		
						28		
						29		
						30		
						31		
						32		
						33		
						34		
						35		
						36		
						37		
						38		
						39		
						40		
						41		
						42		
						43		
						44		
						45		
						46		
						47		
						48		
						49		
						50		
						51		
						52		
						53		
						54		
						55		
						56		
						57		
						58		
						59		
						60		
						61		
						62		
						63		
						64		
						65		
						66		
						67		
						68		
						69		
						70		
						71		
						72		
						73		
						74		
						75		
						76		
						77		
						78		
						79		
						80		
						81		
						82		
						83		
						84		
						85		
						86		
						87		
						88		
						89		
						90		
						91		
						92		
						93		
						94		
						95		
						96		
						97		
						98		
						99		
						100		
						101		
						102		
						103		
						104		
						105		
						106		
						107		
						108		
						109		
						110		
						111		
						112		
						113		
						114		
						115		
						116		
						117		
						118		
						119		
						120		
						121		
						122		
						123		
						124		
						125		
						126		
						127		
						128		
						129		
						130		
						131		
						132		
						133		
						134		
						135		
						136		
						137		
						138		
						139		
						140		
						141		
						142		
						143		
						144		
						145		
						146		
						147		
						148		
						149		
						150		
						151		
						152		
						153		
						154		
						155		
						156		
						157		
						158		
						159		
						160		
						161		
						162		
						163		
						164		
						165		
						166		
						167		
						168		
						169		
						170		
						171		
						172		
						173		
						174		
						175		
						176		
						177		
						178		
						179		
						180		
						181		
						182		
						183		
						184		
						185		
						186		
						187		
						188		
						189		
						190		
						191		
						192		
						193		
						194		
						195		
						196		
						197		
						198		
						199		
						200		
						201		
						202		
						203		
						204		
						205		
						206		
						207		
						208		
						209		
						210		
						211		
						212		
						213		
						214		
						215		
						216		
						217		
						218		
						219		
						220		
						221		
						222		
						223		
						224		
						225		
						226		
						227		
						228		
						229		
						230		
						231		
						232		
						233		
						234		
						235		
						236		
						237		
						238		
						2		

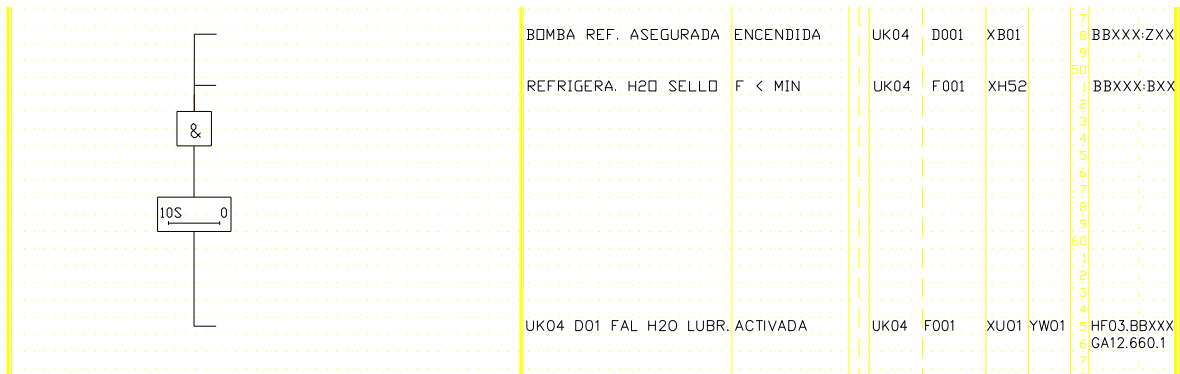


Imagen 7

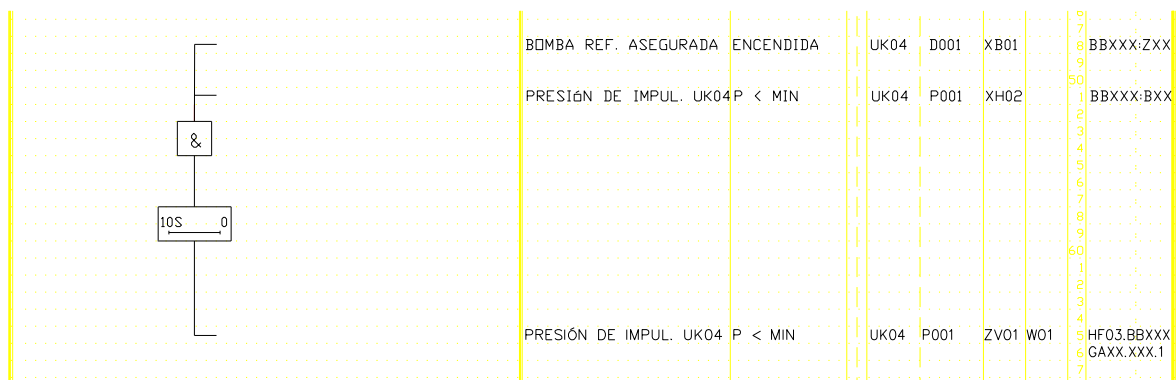


Imagen 8

- ❗ **IMPORTANTE:** La utilización de la tecnología Iskamatic se debió a un análisis que se realizó con el fin de determinar que métodos era el más fiable ya que uno de los factores más importantes en la decisión de esta tecnología fue la longitud de los conductores (aprox. 750 metros).
- ✅ **NOTA:** Es de destacar que las señales de campo se trataran en Iskamatic en el armario JZ01 perteneciente a la misma redundancia que en donde se encuentra UK04D01. Dicho armario se encuentra en +12.00 metros del edificio de maniobras en sala de regulaciones.

CAPITULO III

Consideraciones Operativas

3. Consideraciones Operativas

La 4º bomba UK se considera una bomba más del sistema, y una bomba de reserva.

Se considerara la posibilidad de indisponer 1 bomba y 1 ramal de subida con la planta en servicio.

Por tal motivo, se deberá contemplar los efectos hidráulicos de manera de evitar que ocurra un contraflujo en la cañería de la cuarta bomba en los siguientes casos:

- La válvula UK04 S02 deberá permanecer siempre abierta en condiciones operativas normales.
- Las válvulas UK04 S04 y UK04 S03, 1 de las 2 deberán permanecer abiertas, ya que se operará con ambos ramales conectados como en la actualidad.
- Posición de ataguías (Ver imagen 6)
 - PEA15 AB001 (Ataguía #1)
 - PEA15 AB002 (Ataguía #2)
 - PEA15 AB011 (Ataguía #3)

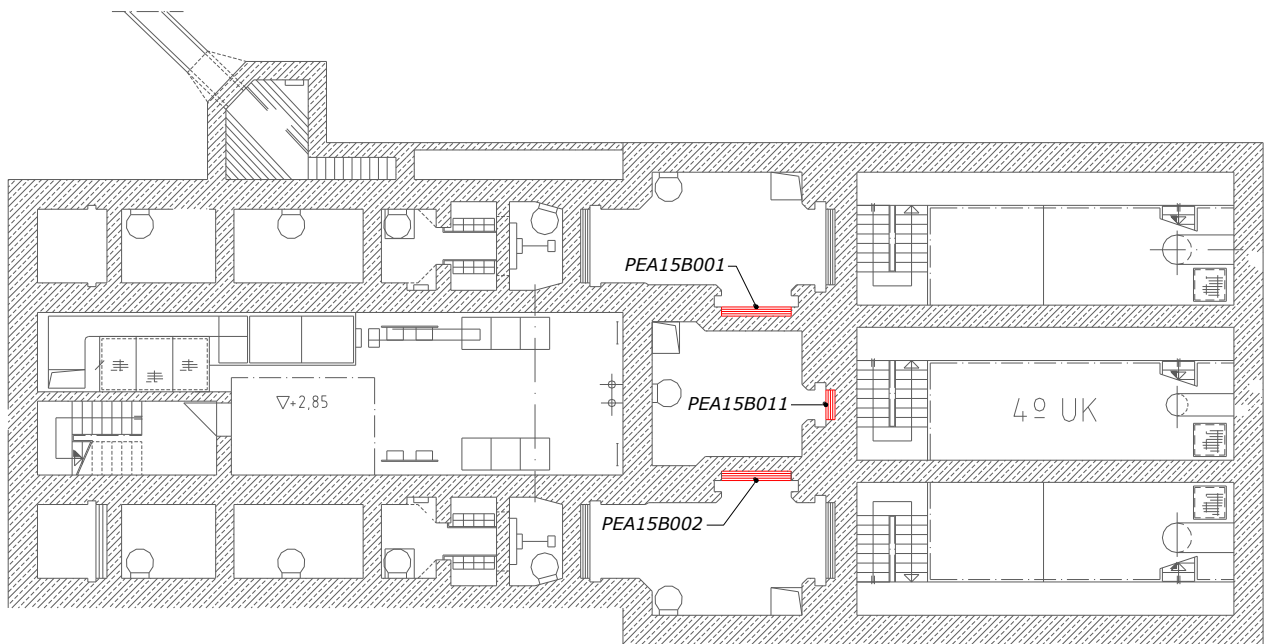


Imagen 6

Es de importancia que si bien por configuración de planta las ataguías PEA15B001, PEA15B002 y PEA15B011 deben estar retiradas, las mismas se deberán corroborar la posición en las recorridas de planta.

- ❗ *Las consideraciones anteriores, se hacen, ya que al incorporar la 4º UK a un sistema de arranque y parada automático, se puede requerir de esta en cualquier situación, por ende es de importancia la posición de las válvulas.*
- ❗ *La válvula UK04 S01, será la responsable de retener la columna de agua en caso de que la 4º UK este deshabilitada, de modo de que si esta llegue a fallar, se deberá visualizar la presión en la impulsión UK04 P01 (como se lo hace actualmente en las bombas UK01 D01, UK02 D01 y UK03 D01).*
- ❗ *Se deberá incluir instrucción de operación, en donde en el momento de la realización de recorrida por parte del auxiliar de turno, se deberá especificar que en el caso de que surja algún imprevisto en las calles de ingreso de agua de alimentación de las bombas PEC10AP001 y PEC30AP001 se tendrá que avisar a sala de control de CNA I, ya que en dicho edificio UPD, se encuentra la bomba UK04 D01, perteneciente al sistema UK de CNA I.*

No se permiten los siguientes modos de operación:

- a- 4 bombas de UK en servicio simultáneamente.
- b- 2 bombas de UK en servicio simultáneamente si solamente un colector (UK10 Z01 ó UK11 Z01) está alineado.

CAPITULO IV

Pérdida del Sistema UK por fallas propias

El Sistema UK refrigera directa o indirectamente componentes relevantes para la operación en potencia y para la remoción de calor residual (cadena QM/RR/UK), y para la refrigeración de los sistemas de seguridad.

De esta forma la propia pérdida del sistema constituye un evento iniciante, es decir un evento con potencial para dañar al núcleo, además de ser requerido como sistema soporte para remover el calor residual en la evolución posterior a distintos eventos accidentales.

En el APS Nivel 1 de eventos internos, se identifican y analizan probabilísticamente distintos escenarios accidentales, dentro de los cuales se incluyen escenarios, o bien debidos a fallas del Sistema UK, o que demandan del Sistema UK como sistema de remoción de calor o como sistema soporte.

Se considera en dicho estudio el evento iniciante “Pérdida o reducción del caudal del UK, incompatible con la operación en potencia” (Evento iniciante T15 en el APS). En la Revisión 3 del APS Nivel 1, dicho evento iniciante tiene una contribución del 2% para una frecuencia de daño al núcleo (FDN) global de la planta de $4,1 \times 10^{-5}$ /año. Cabe señalar que las contribuciones en esa revisión del APS mostraron un perfil de riesgo equilibrado.

La incorporación de la cuarta UK mejora directamente la disponibilidad del sistema, cuya falla puede originarse en fallas de componentes propios del sistema, o puede ser consecuencia de eventos externos.

La disponibilidad del sistema por fallas propias se analiza en el presente informe mediante el árbol de fallas del evento iniciante T15, para la configuración actual y futura del sistema, considerando en el mismo la falla de bombas, válvulas, cañerías, y otros componentes del sistema UK, así como la indisponibilidad de sus componentes por mantenimiento.

La pérdida de tensión en las barras aseguradas, se analiza en el APS como un evento iniciante particular, ya que afecta a múltiples sistemas. No obstante lo anterior, en el presente informe se analiza el suministro eléctrico asegurado como sistema soporte del Sistema UK.

Por otro lado se evalúa el efecto sobre el sistema UK de eventos externos como bajantes, inundaciones, sismos y tornados.

En el presente informe se denomina “configuración actual” refiriéndose al sistema actual con tres bombas UK, y “configuración futura” al sistema con cuatro bombas UK, una vez implementada la MI N° 30/08.

Pérdida del Sistema UK por fallas propias

Análisis del árbol de fallas del evento iniciante T15 en la configuración actual y futura

La pérdida del sistema UK fue modelada y cuantificada mediante el árbol de falla del evento iniciante T15 “Pérdida o reducción de caudal del Sistema UK incompatible con la operación a potencia”, desarrollado oportunamente en el APS para la configuración actual con tres bombas UK, en el informe de Ref. /4/. En dicho informe se obtuvo una frecuencia del evento iniciante de $8,3 \times 10^{-3}$ /año.

Posteriormente se revisó dicho modelo incorporando la cuarta bomba UK en el informe de Ref./4/, que arrojó una frecuencia de $3,4 \times 10^{-3}$ /año.

Premisas del modelado

En ambos modelados se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

- La “Pérdida del Sistema UK” se define como la pérdida o reducción de la capacidad de refrigeración incompatible con la operación a potencia. La pérdida parcial del sistema que implique un deterioro en la capacidad de refrigeración produce consecuencias similares a la pérdida total aunque la evolución será más lenta.

- En todos los casos se asume que el sistema está operando normalmente con dos bombas hasta que ocurre la falla.
- Las condiciones de contorno son para la Planta al 100% de potencia y de acuerdo al Manual de Políticas y Principios de Operación (Ref. /5/). No se toma en cuenta en el modelado del evento iniciante la habilitación de la conexión con el sistema UD cuando está una de las bombas UK en mantenimiento, por tratarse de una acción manual.
- Tanto para la configuración actual como la futura, el criterio de éxito con la central en potencia corresponde al aporte de caudal de dos bombas UK. Si no permanecen dos bombas UK en servicio la planta tiene que reducir potencia.

Con la planta parada y una bomba en servicio la reducción exitosa de usuarios conduce a una salida de servicio con pérdida de las bombas principales, que es más benigno que la pérdida total del sistema UK.

Cabe señalar que, sin acción del operador, la pérdida total del sistema UK conduce al corte del reactor a los 9 minutos (por disparo de las bombas QF ante el aumento de la temperatura del aceite de lubricación), y al cierre de la extracción del TA a los 45 minutos, entrando en un escenario de presurización.

Eventos Básicos considerados

Se tuvieron en cuenta los siguientes eventos básicos, que de ocurrir solos o combinados, pueden llevar a la pérdida del sistema:

- Falla de bombas

Se tuvieron en cuenta falla de bombas en operación, ya sea por falla propia de la bomba o por una señal espuria de control que detiene la bomba y falla al arranque de una bomba en espera donde se considera la falla al arranque propia de la bomba y la falla en la señal de arranque.

Tanto para la bomba en operación como para la bomba en reserva se tuvo en cuenta la falla de cables de potencia.

También se analizó la indisponibilidad por mantenimiento y las fallas de causa común (FCC) de bombas.

La falla de una bomba por sí sola no lleva a la pérdida del sistema.

Para perder el sistema UK la falla de una bomba debe combinarse con alguna otra falla.

- Falla de válvulas

Las válvulas cuya falla puede conducir a perder el sistema son las válvulas de retención de las descargas de las bombas. Dichas válvulas pueden fallar al abrir, al cerrar, o a permanecer en posición.

La falla a permanecer en posición de la válvula de retención de la bomba en espera, sin combinación con ninguna falla adicional, puede llevar a perder el sistema por permitir flujo inverso con su consiguiente pérdida de caudal.

El modelado en el informe de Ref. /6/ considera la tasa de falla catastrófica de una válvula de retención a clapeta indicado en el NUREG 2728. En el informe de Ref. /7/ la tasa de falla catastrófica se ha revaluado considerando la experiencia de planta.

Se tuvieron en cuenta fallas de las acciones de recuperación por parte del operador para algunos escenarios.

- Indisponibilidad por mantenimiento

El mantenimiento para cualquier componente aumenta la confiabilidad del mismo pero puede significar también su indisponibilidad temporal, dependiendo del tipo de mantenimiento que se realice.

La indisponibilidad de una bomba por mantenimiento debe combinarse con otras fallas para conducir a la pérdida del sistema UK.

Cuando se realizó el modelado de Ref. /6/, el sistema UK había sido excluido de mantenimientos preventivos que implicaran la indisponibilidad de una bomba con la central en operación, por lo que solo se consideró indisponibilidad por mantenimientos correctivos. De esta forma, en la cuantificación la contribución que involucra indisponibilidad por mantenimiento combinada con otras fallas no resultó relevante.

La configuración con 4 bombas UK permite poner en mantenimiento preventivo o correctivo una bomba y un ramal de subida sin afectar la operación normal de la central, por lo que en la cuantificación de la configuración futura, Ref. /7/, se consideró la indisponibilidad por mantenimientos preventivos y correctivos.

- Rotura de Cañerías

Se tuvieron en cuenta roturas de cañerías que generan una disminución importante de caudal como para considerar la pérdida del sistema.

Este tipo de rotura constituye una falla pasiva que no requiere de ninguna falla adicional para perder el sistema. Dependiendo del tipo y lugar de la rotura la misma puede ser recuperable o no.

- Finalmente también se consideró la falla en la restricción de usuarios, considerando la falla en las señales que generan la restricción y la falla de las acciones automáticas que la restricción de usuarios genera.

Principales contribuciones al evento iniciante

A continuación se analizan las fallas o combinaciones de fallas más relevantes que llevan a la pérdida del sistema UK, considerándose las mayores contribuciones para la configuración actual y analizándose el impacto de la cuarta UK en dicha contribución con la configuración futura. Las mismas están desarrolladas por orden de contribución en la configuración actual, de acuerdo al árbol desarrollado en el informe de Ref. /6/.

- **Falla a permanecer en posición de la válvula de retención de la bomba en espera**

Configuración actual

Actualmente hay una bomba de reserva con su respectiva válvula de retención susceptible a fallar en su función de retención.

Esta es una falla pasiva recuperable mediante el cierre de la válvula esclusa aguas abajo de la válvula de retención que falló. En la cuantificación no se da crédito a esta recuperación por lo que la sola falla catastrófica de la válvula de retención de una bomba en espera lleva a la pérdida del sistema.

Esta falla constituye la contribución más importante a la pérdida del Sistema UK, con una frecuencia de $4,4 \times 10^{-3}$ /año. Como se mencionó en el punto anterior, la tasa de falla se tomó de un dato genérico, cuyo valor presenta una incertidumbre alta.

Configuración futura

La contribución por válvula de retención de una bomba en espera que falla a permanecer en posición se redujo a $1,3 \times 10^{-3}$ /año, debido a que se afectó la tasa genérica, utilizada anteriormente, por la experiencia de planta (Ver. Ref. /7/).

La incorporación de la cuarta UK agrega una bomba más en espera con su correspondiente válvula de retención susceptible a sufrir esta falla pasiva.

Para no desmejorar la disponibilidad del sistema frente a esta falla, podría incorporarse una válvula de retención adicional (doble retención) en la descarga de la bomba UK04 D01. Por otro lado esto agregaría una clapeta susceptible a fallar a la apertura (ver la contribución "*Falla una bomba en operación y falla a la apertura la válvula de retención en la impulsión de la bomba demanda*" en el presente informe).

Esta situación de compromiso fue analizada oportunamente (ver acta CRT N° 242), y teniendo en cuenta la experiencia de planta se decidió descartar el agregado de válvulas de retención adicionales.

- **Falla por Causa Común (FCC)**

Configuración actual

Para la configuración actual, la falla de causa común de las tres bombas UK01/02/03D01 lleva a la pérdida del sistema, considerando que la bomba que arranca a demanda también falla por la misma causa que hizo fallar las bombas en operación. La indisponibilidad del sistema debido a esta falla es de $1,6 \times 10^{-3}$ /año, constituyendo la segunda contribución en importancia para la pérdida del sistema.

Configuración futura

Teniendo en cuenta que la cuarta UK está ubicada en otro recinto se descarta la posibilidad de una falla de causa común de las cuatro bombas. La falla de causa común de las tres bombas ubicadas en CNAI ya no lleva a la pérdida del sistema, ya que en este caso se demandará a la UK04D01 con reducción de usuarios.

Para perder el sistema UK, la falla de causa común de las tres bombas ubicadas en CNAI requiere ahora combinarse con la indisponibilidad de la UK04D01, por mantenimiento por ejemplo, o por su falla a demanda o en operación.

La contribución por un evento de causa común, de acuerdo a la Ref./4/, difiere según se considere o no que la UK04 D01 está en operación: si la cuarta bomba UK está en operación la mayor contribución por FCC corresponde a la falla de esta bomba combinada con la FCC de las tres bombas de CNAI, que arrojó una indisponibilidad del $1,15 \times 10^{-4}$ /año; si la cuarta bomba UK está en stand-by la mayor contribución por FCC corresponde a la FCC de las tres bombas de CNAI con la indisponibilidad por mantenimiento preventivo de la cuarta bomba UK, que arrojó una indisponibilidad de $4,48 \times 10^{-5}$ /año.

En cualquiera de los casos se disminuye la contribución por causa común.

Cabe aclarar que la citada combinación de FCC de las tres bombas de CNAI con la indisponibilidad por mantenimiento preventivo de la cuarta bomba UK, también corresponde a la mayor contribución por mantenimiento.

- **Falla una bomba en operación y su válvula de retención en la impulsión no cierra**

Configuración actual

En este escenario parte del caudal es perdido porque la clapeta asociada a la bomba que sale de servicio no cierre permitiendo flujo inverso. La bomba demandada arranca quedando dos bombas en operación, por lo que no se genera la restricción de usuarios.

El sistema podría recuperarse si el operador diagnostica correctamente la falla y cierra localmente la válvula esclusa aguas debajo de la válvula que falló.

Se considera que el operador no posee señales ni medios para iniciar una recuperación desde Sala de Control, por lo que no se da crédito a esta recuperación en la cuantificación.

Configuración futura

Debido a que esta falla no genera demanda de una bomba en espera, el agregado de la cuarta UK no modifica la contribución de este escenario.

El hecho de que la configuración con la cuarta UK permite realizar mantenimientos más exhaustivos se traducirá en un aumento en la confiabilidad de sus componentes, si bien esta mejora no fue cuantificada.

- **Rotura de cañerías**

Configuración actual

Se considera una rotura de cañería que genera una disminución de caudal suficiente para perder el sistema, como puede ser la rotura de las cañerías que van desde la Casa de Bombas de CNAI hasta la Casa de Máquinas por movimiento de suelo.

En la cuantificación se ha tomado el dato genérico para este tipo roturas en plantas PWR, dando una indisponibilidad por este evento de 1×10^{-4} /año.

Configuración futura

El agregado de la cuarta UK implica el agregado de cañerías que por un lado son susceptibles a fallar pero también otorgan diversidad al sistema.

Dependiendo del tipo y ubicación de la rotura podrá aislarse la pérdida recuperando el sistema. En la cuantificación no se da crédito a dicha recuperación, que generalmente implica el cierre local de válvulas. De esta forma el agregado de la cuarta UK no se refleja en la contribución de esta falla.

- **Falla una bomba en operación y falla a la apertura la válvula de retención en la impulsión de la bomba demanda**

Configuración actual

La falla a la apertura de la válvula de retención en la impulsión de la bomba de reserva bloquea su caudal. A pesar de disponerse de dos bombas en operación solo una bomba aporta efectivamente su caudal.

En este caso no se genera la reducción de usuarios.

Esta falla puede ser diagnosticada por el operador y recuperada ya que tiene la instrucción de sacar de servicio la bomba cuya impulsión no ha abierto francamente. De esta forma se demandará la restricción de usuarios.

Esta recuperación fue cuantificada en el árbol de fallas. Dado el escaso tiempo disponible, no se da crédito a la acción del operador dentro de los primeros 10 minutos, por lo que la recuperación se asume posterior al corte del reactor.

De acuerdo a la Ref. /6/, la mayor contribución por falla de una bomba en operación con falla a la apertura de la válvula de retención de la bomba demandada aparece combinada con la falla en la acción de recuperación del operador.

Configuración futura

Si el operador diagnostica la falla y la recupera antes del corte del reactor, se demandará a la segunda bomba en reserva. De ser exitoso el arranque de esta bomba la planta seguirá en operación normal con dos bombas UK. De no ser exitoso se demandará la restricción de usuarios.

Si el diagnóstico y la recuperación son posteriores al corte del reactor, de todas formas se demandará a la segunda bomba de reserva, pudiendo mantenerse dos bombas UK en operación. De no ser exitoso el arranque de la segunda bomba de reserva se generará la restricción de usuarios.

Si el operador no diagnostica correctamente la falla, no se demandará la segunda bomba de reserva, por lo que la inclusión de la cuarta UK no modifica la contribución de este escenario. De esta forma, al igual que en la configuración actual, la mayor contribución por falla de una bomba en operación con falla a la apertura de la válvula de retención de la bomba demandada aparece combinada con la falla en la acción de recuperación del operador (Ref. /7/).

La falla a la apertura fue analizada en el informe de Ref. /8/. Es ventajosa desde ese punto de vista una configuración que permita realizar inspecciones periódicas, como la elegida para el agregado de la cuarta UK.

CAPITULO V

Pérdida del Sistema UK por fallas del Suministro Eléctrico

Análisis de Suministro Eléctrico Actual y Futuro como soporte del Sistema UK

Suministro Eléctrico Actual

- Las bombas UK están alimentadas desde las barras aseguradas (BU/BV) pertenecientes al Sistema Eléctrico Asegurado. Normalmente las bombas UK02/03 están en operación y la bomba UK01 como reserva.



Figura 2: Configuración actual – Suministro Eléctrico

- Ambas barras aseguradas (BU/BV) están conectadas entre sí y su alimentación es normalmente desde la barra normal BB. Con el reactor en potencia el Sistema Eléctrico Asegurado se podrá operar, en forma transitoria, alimentado desde la barra normal BA o aislado del sistema no asegurado, alimentado por su propia generación (tres generadores diesel de emergencia, o la turbina hidráulica en

servicio), siempre que esta situación no se mantenga por más de cuatro horas (ver Ref. /5/).

Suministro Eléctrico Futuro

- El nuevo diseño del Sistema Eléctrico de Emergencia de CNA I (EPS) tiene dos barras aseguradas independientes, alimentadas cada una desde una barra normal (BU desde BA y BV desde BB). Cuando no existe la posibilidad de alimentar a las cargas eléctricas desde las barras normales se recurre a la generación eléctrica de emergencia.
- Para el servicio de emergencia se han previsto tres grupos Diesel que arrancan automáticamente, previa apertura de los interruptores entre barras normales y barras de emergencia. La caída de tensión y frecuencia en cualquiera de las barras aseguradas genera la señal de “Corriente de Emergencia”, para la o las barras afectadas, que demanda el arranque y posterior conexión de los equipos Diesel. Si la conexión del diesel es exitosa, se inicia el programa de secuencia de cargas, que reconecta una bomba UK por cada barra asegurada alimentada desde un diesel.
- Existen dos posibles configuraciones desde el punto de vista eléctrico:
 - o Modo preferencial: una bomba alimentada desde cada barra asegurada Como modo de operación preferencial se sugiere usar UK01 D01 y UK03 D01 por un lado, y UK02 D01 y UK04 D01 por el otro. En caso de falla de la bomba en servicio se conmuta en forma automática a la otra bomba alimentada desde la misma barra.



Figura 3: Configuración futura – Modo de operación preferencial

- o Modo alternativo: dos bombas alimentadas desde la misma barra asegurada Se podrán usar dos bombas alimentadas desde la misma barra, siempre que esta barra no esté alimentada por un diesel. Esta selección puede ser manual o automática en caso de falla de ambas bombas alimentadas desde la misma barra.



Figura 4: Configuración futura – Modo de operación alternativo

Comparación entre el Suministro Eléctrico Actual y Futuro del Sistema UK

El nuevo diseño del Sistema Eléctrico de Emergencia de CNA I (EPS) con dos barras aseguradas independientes, conjuntamente con la incorporación de la cuarta UK, permite una configuración con dos bombas sobre cada barra. De esta forma la bomba UK01 D01 pierde su carácter de única bomba alimentada desde BU.

Esta configuración sumada al hecho de que las cuatro bombas están conectadas a un “colector común” (Ver Nota 1), permite que cada bomba pueda rotar en pie de igualdad en principio con la bomba de su misma barra (modo de operación preferencial) y luego con las bombas restantes.

La respuesta de la central con la implementación de ambas modificaciones está siendo analizada y cuantificada dentro del marco de la actualización del APS.

A continuación se realizará un análisis comparativo ante la pérdida de suministro eléctrico para la configuración actual (3 bombas UK) y futura (4 bombas UK):

- **Pérdida de suministro eléctrico a una barra asegurada**

Configuración actual

Para que ocurra la pérdida de alimentación de una sola barra asegurada, debe generarse un cortocircuito en una barra, sobrecarga o apertura espuria de interruptores.

Ante este escenario, solo es posible continuar con dos bombas en operación, si la pérdida es de la barra BU, y la alimentación de BV es desde las barras normales. En este caso no se genera señal de Corriente de Emergencia ni reducción de usuarios.

En el caso que la barra asegurada perdida sea BV, se genera la señal de Corriente de Emergencia con la consiguiente restricción de usuarios quedando en operación una sola bomba UK.

Configuración futura

Si la pérdida de suministro eléctrico en la barra asegurada es por pérdida de alimentación desde la barra normal correspondiente, con la otra barra asegurada alimentada desde su barra normal, se generará la señal de Corriente de Emergencia, que demandará la conexión del diesel correspondiente. De esta forma se podrá continuar con dos bombas UK en operación: una desde la barra afectada alimentada por el diesel y otra desde la barra no afectada alimentada desde su barra normal.

En caso de no recuperarse tensión en la barra, o que falle la reconexión de las bombas de la barra con corriente de emergencia, la otra barra podrá suministrar corriente a sus dos bombas UK, permitiendo continuar con dos bombas UK en operación, las dos desde la misma barra.

Si la pérdida de suministro eléctrico en la barra asegurada es por una falla que impida la conexión a los diesel, como puede ser frente a un cortocircuito o sobrecarga de un consumo, con la otra barra asegurada alimentada desde su barra normal, la barra asegurada no afectada podrá alimentar también a dos bombas UK.

Debido a que las barras aseguradas están separadas entre sí, un cortocircuito en una barra no será transmitido a la otra.

Es decir que *ante la pérdida de suministro eléctrico a una barra asegurada, se puede continuar con dos bombas UK en servicio, sin generarse la restricción de usuarios.*

- **Pérdida de suministro eléctrico a dos barras aseguradas**

Configuración actual

Si la pérdida de suministro eléctrico en las barras aseguradas es por pérdida de alimentación desde las barras normales, se produce la señal de corriente de emergencia, que genera la operación de una sola bomba UK con reducción de usuarios.

Si la pérdida de ambas barras es por un cortocircuito no despejado, no se podrá alimentar a ninguna bomba UK. La evolución de este escenario está analizado en el APS de CNAI, como el evento iniciante T2: "Pérdida de suministro eléctrico a barras aseguradas" (Ref. /6/).

Configuración Futura

Si la pérdida de suministro eléctrico en las barras aseguradas es por pérdida de alimentación desde las barras normales, se generará la señal de Corriente de

Emergencia en ambas barras aseguradas, por lo que se demandará la conexión de un diesel en cada barra asegurada.

El sistema de carga del diesel reconectará una bomba UK por cada barra.

En caso de no recuperarse tensión en una de las barras, la barra que recuperó tensión desde el diesel correspondiente podrá alimentar una bomba UK, por lo que se operará con una bomba UK con la respectiva reducción de usuarios.

Es decir que ante la pérdida de suministro eléctrico a ambas barras aseguradas con recuperación de tensión desde el Suministro Eléctrico de Emergencia, se puede continuar con dos bombas UK en servicio, o con una bomba UK y reducción de usuarios.

La pérdida de ambas barras aseguradas por una falla que impida la recuperación de tensión con los diesel será analizado dentro del marco de la actualización del APS.

Análisis del modo de operación en la configuración futura

Premisas del análisis

Para el análisis del modo de operación más conveniente se tendrán en cuenta las siguientes premisas:

- Se considerará la respuesta del sistema frente a la pérdida de una barra asegurada, asumiendo la pérdida total de la alimentación: la barra asegurada no recibe ni alimentación normal ni desde los diesel.

Esto puede deberse a sobrecarga de alguno de los consumos, cortocircuito, apertura espuria de interruptores, o conexión a los Diesel no exitosa de la barra afectada. Si bien se genera la señal de corriente de emergencia en esta barra, no se logra la alimentación desde los diesel por lo que la barra asegurada queda sin tensión.

La barra asegurada no afectada continua alimentada por su barra normal. No se genera corriente de emergencia para esta barra por lo que la misma puede alimentar a dos bombas UK.

En estas condiciones la lógica del sistema UK, intentará mantener dos bombas en operación de ser posible, demandando a las bombas de reserva de ser necesario. De no lograrlo se requerirá una bomba en operación con su respectiva reducción de usuarios. Por otro lado el operador deberá detener manualmente el reactor por pérdida de una bomba QP.

- El criterio de éxito considerado es: 2 bombas UK en operación o, en su defecto, 1 bomba UK + reducción de usuarios. De no alcanzarse el criterio de éxito fijado el escenario contribuirá al evento tope: Pérdida del Sistema UK.
- Para el análisis de los modos de operación se partirá de los siguientes estados operativos:
 - Modo de operación preferencial: están en operación la bomba UK01 alimentada desde BU y UK03 alimentada desde BV.
 - Modo de operación alternativo: están en operación la bomba UK02 y UK03 ambas alimentadas desde BV.

En ambos modos de operación se parte de un estado operativo donde la UK04 está en stand-by. De esta forma los resultados serán comparables aun considerando las diferencias en la tasa de falla a la demanda entre las bombas UK existentes y la cuarta UK (Ref. /7/).

- En el análisis se han desestimado la falla de las bombas en operación.

Contribuciones a la pérdida del Sistema UK

A continuación se analizan las fallas o combinaciones de fallas que llevan a la pérdida del sistema UK ante la pérdida de una barra asegurada:

- Modo de operación preferencial

En este caso la pérdida de cualquiera de las barras aseguradas deja una bomba en operación, por lo que en principio se demandará la bomba de reserva de la barra no afectada. De no conseguirlo se demandará la reducción de usuarios. Es decir que de no arrancar la segunda bomba ni producirse exitosamente la reducción de usuarios se contribuirá al evento tope.

Las combinaciones de falla que conducen a la pérdida del Sistema UK son:

- Falla de BU combinada con falla al arranque de UK02 combinada con falla de la reducción de usuarios.
 - Falla de BV combinada con falla al arranque de UK04 combinada con falla de la reducción de usuarios.
- Modo de operación alternativo

En este caso la evolución dependerá de si se pierde o no la barra que alimenta a ambas bombas en operación: si la pérdida es de la barra BU, no se afectará la operación del sistema UK. Si la pérdida es de BV, se requerirá el arranque de las dos bombas de reserva desde BU. Si se logra solo la conexión de una bomba se requerirá la reducción

de usuarios. Es decir que de no lograrse el arranque de ninguna bomba o de lograr el arranque de una pero sin reducción de usuarios exitosa se contribuirá al evento tope. Las combinaciones de falla que conducen a la pérdida del Sistema UK son:

- Falla de BV combinada con falla al arranque de UK01 combinada con falla al arranque de UK04.
- Falla de BV combinada con falla al arranque de UK01 combinada con falla de la reducción de usuarios
- Falla de BV combinada con falla al arranque de UK04 combinada con falla de la reducción de usuarios.

Asumiendo que la tasa de falla de ambas barras es la misma y comparando las contribuciones en los distintos modos de operación, se encuentra que en el modo de operación alternativo (dos bombas alimentadas desde la misma barra asegurada) existe una contribución adicional que corresponde a la falla de BV combinada con la falla al arranque de ambas bombas de reserva.

De esta forma se concluye que el modo de operación preferencial es más conveniente frente a la pérdida de barras aseguradas.

CAPITULO VI

Pérdida del Sistema UK por eventos externos

Inundaciones y Bajantes

Niveles de Inundaciones y Bajantes

En la etapa de diseño de CNAI, se tuvieron en cuenta las variaciones en el nivel del Río Paraná para proteger a las instalaciones frente a inundaciones y bajantes. Según consta en el Capítulo 2 del Informe Final de Seguridad de 1973, se consideró un valor de 4,55 metros para la máxima creciente y 0,17 metros para la máxima bajante (el cero de referencia es el cero del Riachuelo).

Con posterioridad a la puesta en servicio de la planta se realizaron nuevos estudios hidrológicos sobre el sitio de Atucha, a fin de determinar los niveles del río para el diseño de la CNA II. En el año 1983 se establecieron los siguientes niveles máximos, mínimos y recurrencias para el sitio:

- Inundación con recurrencia de 1000 años: +5,2m
- Inundación con recurrencia de 100 años: +4,5m
- Inundación con recurrencia de 20 años: +4m
- Inundación con recurrencia de 5 años: +3,5m
- Nivel medio: +2m

- Registro estimado de nivel bajo: 0m
- Bajante con recurrencia de 100 años: -0,5m
- Bajante con recurrencia de 1000 años: -1m

Estos niveles conjuntamente con la experiencia del sitio fueron considerados posteriormente también para CNAI, con el fin de preservar los componentes susceptibles de sufrir daño frente a ascensos o descensos del nivel del río, no contemplados en la etapa de diseño (ver punto siguiente).

También, se determinó la Crecida Máxima Probable (CMP), cuyo valor se estableció, en forma determinística, maximizando todos los factores adversos vinculados con la inundación. De esta forma la cota máxima sobre el cero del Riachuelo que se consideró en el diseño de la segunda unidad (CNA II) fue de 8,45m. Este valor fue revaluado en relación a inundaciones producidas por rotura de presas, arribándose a una conclusión similar.

Respuesta del Sistema UK ante inundaciones y bajantes

Descensos en los valores de nivel de río generan deterioro en la capacidad de bombeo, por el bajo nivel de agua y los sedimentos de la toma, pudiendo ocasionar la indisponibilidad de la toma de agua.

En particular, las bombas UK instaladas en la Casa de Bombas de CNAI, presentan una vulnerabilidad respecto a bajantes extremas, debido al nivel mínimo considerado en el diseño.

La cuarta bomba UK en cambio, a instalarse en el Edificio UPD de CNA II, tiene una cota de aspiración de aproximadamente, 1,4 metros más baja que la de las UK01/02/03. Esto permitirá contar con una bomba UK que opera con niveles de río inferiores a la base de diseño, por lo que se mejora la respuesta del sistema ante bajantes extremas.

Respecto a las inundaciones, la Casa de Bombas de CNAI está ubicada en la primera barraca, en el nivel 6 metros. Como resultado es el edificio de la central más vulnerable frente a las crecientes.

A raíz de una inundación importante ocurrida en 1983, donde se alcanzó un nivel de 4,55 metros se construyó en la Casa de Bombas de CNA I un muro de contención de 0,5 metros. Además los niveles establecidos para el sitio de Atucha, utilizados en el diseño de CNAII, se contemplaron para los lineamientos de la Instrucción T17 "Operación con creciente del Río Paraná de las Palmas".

El motor de la cuarta bomba UK se encuentra en una cota más alta que la de los motores de las bombas UK existentes, pudiendo operar con un nivel máximo permitido de río de 8,7 metros. Por lo tanto se puede contar con una bomba UK aun con el nivel de río correspondiente a la Crecida Máxima Probable establecida para el sitio, superando el nivel máximo considerado en la etapa de diseño.

De esta forma tanto para crecientes como para bajantes del Río Paraná, la cuarta bomba UK otorga un mayor margen de operación, permitiendo disponer de agua de refrigeración aun en condiciones extremas del río.

Sismos y tornados

De acuerdo a los criterios y requerimientos establecidos en los años sesenta para centrales nucleares emplazadas en sitios de baja sismicidad, no se contemplaron las cargas sísmicas en el diseño de las estructuras, sistemas y componentes de la CNA I, si bien existe una capacidad intrínseca para resistir eventos sísmicos de cierto nivel.

A mediados del 2011 se inició un Programa de Evaluación Sísmica en CNA I, donde se elaboró una Lista de Equipos de Parada o SSEL por sus siglas en inglés (Segura Safe Shutdown Equipment List), considerando en la misma aquellas estructuras, sistemas y equipos que deben permanecer funcionales ante el nivel del terremoto postulado, y que permiten la parada segura de la planta y su permanencia en dicho estado durante 72 horas posterior al sismo. En dicho programa se realizó una recorrida de planta con el fin de determinar la capacidad sísmica de los componentes que conforman la SSEL.

Se concluyó que los componentes pertenecientes a la Casa de Bombas de CNAI tienen una capacidad sísmica aceptable.

Respecto a los tornados, la CNAI no fue originalmente diseñada contra la acción de tornados, si bien se aplicaron criterios conservativos en su diseño conforme a las estructuras típicas de una central nuclear.

La CNA II diseñada posteriormente, sí tuvo en cuenta estos fenómenos como eventos de diseño. En particular el edificio UPD donde se instalará la cuarta UK, corresponde a una Categoría Sísmica I, por lo que además de las cargas sísmicas fueron tenidas en cuenta cargas por tornados y cargas por explosiones.

De esta forma, la incorporación de la cuarta UK mejora la respuesta del sistema ante eventos externos. Además la separación física de la cuarta bomba respecto de las bombas de CNA I, disminuye la probabilidad de que eventos como tornados y explosiones afecten a todas las bombas en conjunto con la misma severidad.

CONCLUSIONES

Dicha bomba aumenta la seguridad de la unidad 1 disminuyendo la probabilidad de falla del sistema UK. Pues tiene un margen de operación de +2,7 metros más en caso de creciente y -1.45 más en caso de bajante que las 3 bombas actuales, ya que admite +8.7 metros para crecientes y -3,20 metros para bajantes del río Paraná de las Palmas.

De acuerdo al análisis de la actuación del Sistema UK con la implementación de la MI 30/08, se concluye que todas las situaciones accidentales, incluyendo transitorios eléctricos están cubiertos, mejorando las condiciones mínimas de seguridad.

Integrando en el análisis los árboles de falla desarrollados para el evento iniciante T15 “Pérdida o reducción de caudal del Sistema UK incompatible con la operación a potencia”, presentados ante el CRT, se observa una mejora en la frecuencia de dicho evento iniciante con la incorporación de la cuarta bomba UK: **$8,3 \times 10^{-3}/\text{año}$** para el sistema actual (3 bombas) y **$3,4 \times 10^{-3}/\text{año}$** para el sistema futuro (4 bombas), teniendo en cuenta las premisas consideradas en cada modelado.

La incorporación de la cuarta UK mejora la disponibilidad del sistema por proveer de una bomba más de reserva, pero dado que solo algunas de las contribuciones principales demandan una bomba en espera, la mejora se ve parcialmente reflejada en la cuantificación.

Por otro lado el aumento en la confiabilidad del sistema como producto de mantenimientos más exhaustivos permitidos en la configuración futura no fue cuantificado.

La incorporación de la cuarta UK, conjuntamente con la implementación del nuevo EPS, mejora la respuesta del sistema ante la falla de suministro eléctrico y la configuración elegida como preferencial (una bomba alimentada desde cada barra) resulta ser la más conveniente ante la pérdida de una barra asegurada.

Respecto a los tornados, la CNA I no fue originalmente diseñada contra la acción de tornados, si bien se aplicaron criterios conservativos en su diseño conforme a las estructuras típicas de una central nuclear.

La CNA II diseñada posteriormente, sí tuvo en cuenta estos fenómenos como eventos de diseño. En particular el edificio UPD donde se instalará la cuarta UK, corresponde a una Categoría Sísmica I, por lo que además de las cargas sísmicas fueron tenidas en cuenta cargas por tornados y cargas por explosiones.

De esta forma, la incorporación de la cuarta UK mejora la respuesta del sistema ante eventos externos. Además la separación física de la cuarta bomba respecto de las bombas de CNA I, disminuye la probabilidad de que eventos como tornados y explosiones afecten a todas las bombas en conjunto con la misma severidad.

En cuanto a la respuesta del sistema ante eventos externos, se concluye que la implementación de la MI 30/08 mejora la disponibilidad del Sistema UK, principalmente ante inundaciones y bajantes.

REFERENCIAS

- **Referencia /1/** - ENACE. “Design Sheet, Bomba del circuito auxiliar de refrigeración asegurada”. CNA II – ENACE UK04-231297.
- **Referencia /2/** - SIEMENS, “Data Sheet MOTOR Modelo 1LA4354-6AN74-Z”
- **Referencia /3/** - CNA I “Plano C74103-A1500-A201--34_B1.17”
- **Referencia /4/** - Couto A., Sujatt J. “Determinación de la frecuencia de ocurrencia del grupo de eventos iniciantes T15 ‘Pérdida del Sistema UK’, antes y después de las modificaciones a la instalación”. CNAI.APS.IT.608. Año 1999.
- **Referencia /5/** - Manual de Políticas y Principios de Operación. CNA I (VR 13)
- **Referencia /6/** - CNA I. Informe Actualizado del análisis Probabilístico de Seguridad. Rev. 3. Año 2009.
- **Referencia /7/** - Pedernera P. “CNA I. Árbol de fallas para el Evento Iniciante ‘Pérdida total del Sistema Asegurado de Agua de Río’ incorporando la 4° UK”. RN IT 09/10.
- **Referencia /8/** - Berra S., Guala M. “Estudio del balance de momentos en las clapetas UK01/02/03 S01 y propuesta para mejorar su confiabilidad a la apertura”. IT 119/97.



-
- **Referencia /9/** - AREVA “Switchgear BU Emergency Busbar – UK04 D01/BU06”.
R24201.01.606-3.PIX-H

