

## Paper CA1105\_Gomez\_S - MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE BALIZAMIENTO DEL PUERTO BUENOS AIRES

Ing. Gomez Mahne, Sofia; Ing. Peyregne, Marcelo  
*Administración General de Puertos S.E.*

Email: sgomezmahne@puertobuenosaires.gob.ar

### ABSTRACT:

El sistema de balizamiento de Puerto Buenos Aires está compuesto por 10 balizas, 45 boyas tipo II-B, 5 boyas tipo I-B y 8 boyas bicónicas, distribuidas en los siguientes sectores:

- Canal Huergo (Ex Canal Norte), del km 0,000 al km 7,300, posee 17 boyas II-B, 4 balizas, 4 boyas bicónicas.
- Canal Sur, del km -0,405 al km 6,300, posee 18 boyas II-B, 3 balizas, 3 boyas bicónicas.
- Canal Brown (Ex Canal Acceso a Puerto Buenos Aires), del km 7,300 al km 12,000, posee 9 boyas II-B, no posee balizas ni boyas bicónicas.
- Canal de Pasaje, Interior de Puerto y Acceso a Dársena F, posee 1 boya II-B, 5 boyas I-B, 3 balizas, 1 boya bicónica.

Entre los años 1996 y 2016, la Dirección Nacional de Vías Navegables (DNVN) realizó el mantenimiento de la señalización en el marco de sucesivos Convenios de colaboración. En ese periodo se realizaron aproximadamente 390 reposiciones de boyas completas y 1100 intervenciones en el sistema lumínico de las mismas. Se utilizaba un sistema lumínico tradicional, compuesto por elementos separados: paneles solares, baterías y linternas led. A partir del año 2015, en la medida en que las linternas iban saliendo de servicio, fueron reemplazadas por linternas autocontenidas.

A partir de la finalización del convenio con la DNVN, la Administración General de Puertos contrató los "Trabajos de Normalización, Adecuación y Mantenimiento de la Señalización en los Canales Norte, Sur y Acceso hasta el Km 12,000 y del Interior del Vaso Portuario de Puerto Buenos Aires", obra que fue adjudicada a la empresa Pentamar S.A.

En dicha obra se proponía la incorporación de equipos de Sistema Automático de Identificación (AIS) para cada una de las boyas tipo II-B y Balizas, de forma tal de poder conocer en tiempo real la posición y el correcto funcionamiento del sistema lumínico. Se había evaluado que desde el punto de vista económico, disponer AIS en todo el sistema no representaba una diferencia significativa con hacerlo con algunas señales, y permitía mayor control de parte de la Autoridad Portuaria.

A los efectos de mejorar las prestaciones, la empresa contratista propuso reemplazar la provisión de los equipos AIS que serían incorporados a los sistemas lumínicos existentes, por linternas integradas con AIS, marca TIDELAND modelo 65-T.

Poseer este tipo de equipos, respaldados por una rápida respuesta por parte del personal y las embarcaciones, permitieron que se mejore sustancialmente la "disponibilidad" del sistema de ayudas a la navegación.

Es por ello que el objetivo del presente documento es realizar el cálculo de la disponibilidad, de acuerdo a las recomendaciones de IALA (Guideland 1035 "Availability and Reliability of Aids to Navigation", Navguide, Recommendation O-130 "Categorisation and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation", etc), a los efectos de compararlo con los objetivos sugeridos por esa Asociación.

Asimismo, se analiza la mejora en la disponibilidad que representó la utilización de nuevas tecnologías, la conveniencia de invertir en dichos dispositivos, así como también las debilidades y fortalezas de poseer AIS en todas las señales del Puerto.

## 1 INTRODUCCIÓN

El sistema de balizamiento de Puerto Buenos Aires está compuesto por 10 balizas, 45 boyas tipo II-B, 5 boyas tipo I-B y 8 boyas bicónicas, distribuidas en los siguientes sectores:

- Canal Huergo (Ex Canal Norte), del km 0,000 al km 7,300, posee 17 boyas II-B, 4 balizas, 4 boyas bicónicas.
- Canal Sur, del km -0,405 al km 6,300, posee 18 boyas II-B, 3 balizas, 3 boyas bicónicas.
- Canal Brown (Ex Canal Acceso a Puerto Buenos Aires), del km 7,300 al km 12,000, posee 9 boyas II-B, no posee balizas ni boyas bicónicas.
- Canal de Pasaje, Interior de Puerto y Acceso a Dársena F, posee 1 boya II-B, 5 boyas I-B, 3 balizas, 1 boya bicónica.

Entre los años 1996 y 2016, la Dirección Nacional de Vías Navegables (DNVN) realizó el mantenimiento de la señalización en el marco de sucesivos Convenios de colaboración. En ese periodo se realizaron aproximadamente 390 reposiciones de boyas completas y 1100 intervenciones en el sistema lumínico de las mismas. Se utilizaba un sistema lumínico tradicional, compuesto por elementos separados: paneles solares, baterías y linternas led. A partir del año 2015, en la medida en que las linternas iban saliendo de servicio, fueron reemplazadas por linternas autocontenidas.

A partir de la finalización del convenio con la DNVN, la Administración General de Puertos contrató los "Trabajos de Normalización, Adecuación y Mantenimiento de la Señalización en los Canales Norte, Sur y Acceso hasta el Km 12,000 y del Interior del Vaso Portuario de Puerto Buenos Aires", obra que fue adjudicada a la empresa Pentamar S.A.

En dicha obra se reemplazaron los sistemas lumínicos existentes, por linternas integradas con AIS, marca TIDELAND modelo 65-T.

El uso del parámetro "DISPONIBILIDAD" es un buen método para definir el nivel de servicio que se puede esperar de una ayuda a la navegación. Permite clasificar y calcular la disponibilidad de ayudas a la navegación tanto para ayudas individuales como para sistemas de ayudas a la navegación.

A continuación se calculará la disponibilidad del sistema de balizamiento.

## 2 METODOLOGÍA

El parámetro "Disponibilidad" puede calcularse dividiendo el tiempo total durante el cual la ayuda ha estado funcionando correctamente (es decir, tiempo total - tiempo de inactividad), por el tiempo total

durante el cual la ayuda debería haberse realizado correctamente.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{tiempo total} - \text{tiempo de falla}}{\text{tiempo total}}$$

De acuerdo con la Recomendación O-130 de IALA, los objetivos de disponibilidad se calculan durante un período continuo de tres años, a menos que se especifique lo contrario.

Hay tres categorías de ayudas a la navegación, que reflejan su importancia para la navegación.

Categoría 1: una ayuda a la navegación (AtoN) o un sistema de AtoN que la autoridad competente considera de vital importancia para la navegación. Por ejemplo, ayudas luminosas a la navegación y racones que se consideran esenciales para marcar los toques de tierra, rutas primarias, canales, cursos de agua, peligros o protección del medio marino.

Categoría 2: una AtoN o un sistema de AtoN que la autoridad competente considera de importancia para la navegación. Por ejemplo, señales luminosas y racones que marcan rutas secundarias y las que se utilizan para complementar la señalización de rutas primarias.

Categoría 3: una AtoN o un sistema de AtoN que la autoridad competente considera de importancia necesaria para la navegación.

Los objetivos recomendados para la disponibilidad AtoN establecidos en la Recomendación O-130 de IALA sobre categorización son los siguientes:

Categoría	Objetivo de Disponibilidad	Periodo de Calculo
1	99,8%	Los objetivos de disponibilidad se calculan durante un período continuo de tres años, a menos que se especifique lo contrario.
2	99,0%	
3	97,0%	
La disponibilidad mínima de cualquier AtoN individual debe ser del 95%.		

Tabla 1 Objetivo de Disponibilidad (Fuente: Recomendación O-130 IALA)

Se recopiló la información de partes de balizamiento desde el 10/10/2016 al 30/06/2020 y se confeccionó

una planilla con filas para las 68 señales y columnas para cada día del periodo analizado, y se completó con la información recopilada, de forma tal de poder conocer la cantidad de días que cada señal se encontró fuera de servicio.

Para el caso de señales sin AIS, se estableció la fecha de inicio de la falla como el promedio entre la última fecha de verificación de la señal sin que esta presente la falla y la fecha de reporte de la misma.

### 2.1 Etapas

El periodo total analizado alcanza 3 años y 9 meses, por lo que la disponibilidad del sistema solo puede ser calculada en una sola etapa. No obstante, a los efectos de observar las tendencias y mejoras parciales, se realizaron cálculos similares a los de la disponibilidad y que solo a los efectos del presente trabajo se denomina "Funcionamiento", para 3 etapas diferenciadas, cuya duración es menor a 3 años:

La etapa Inicial, donde se mantuvo el sistema existente al momento, es decir algunas señales con sistema lumínico convencional (componentes individuales) y otras con linternas autocontenidas sin AIS. Esta etapa se extendió por 6 meses y medio aproximadamente, desde el 10/10/16 hasta el 19/4/17.

La etapa de Implementación, donde se puso a punto el sistema con linternas integradas con AIS. Cabe mencionar que esta etapa, que se preveía una duración de 1 a 2 meses, se vio ampliado debido a problemas de diseño nunca antes experimentados en las linternas provistas. Se consideraron 16 meses para esta etapa, desde el 19/04/17 al 15/10/18, momento en que se reemplazaron componentes que mejoraron el desempeño de las mismas.

La etapa final se consideró con una duración de 22,5 meses, desde el 15/10/18 al 30/06/20, y se caracteriza por el monitoreo por AIS de todas las señales luminosas.

### 2.2 Tendencia de mejora en el tiempo.

Debido a que el mínimo periodo a analizar para calcular la disponibilidad es de 3 años, se analizó la mejora en los últimos 9 meses.

### 2.3 Mantenimiento previo

A los efectos de comparar la calidad del servicio actual con la de años anteriores, debido al tipo de información registrada durante los años en los que el mantenimiento era realizado por la Dirección Nacional de Vías Navegables, no es posible realizar el cálculo de la disponibilidad tal como se fue posible con los últimos 3 años y medio.

Es por ello que se realizó un cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF), de acuerdo a la ecuación 7 de la guía IALA 1035 "AVAILABILITY AND RELIABILITY

OF AIDS TO NAVIGATION - THEORY AND EXAMPLES":

$$MTBF = \frac{1}{tasa\ de\ falla}$$

Siendo la tasa de falla la cantidad de fallas de una señal o conjunto de señales por unidad de tiempo que ha estado realizando sus funciones requeridas.

### 2.4 Consumo de componentes de balizamiento

Se analizó el consumo de los diferentes elementos de balizamiento durante el periodo 1996 a 2016, calculando un promedio de consumo mensual. De la misma forma, se analizaron los consumos durante el periodo 2016-2020.

Asimismo, teniendo en cuenta el valor de adquisición de los elementos en dólares estadounidenses, se calculó el ahorro en provisión de componentes de las señales que representa para AGPSE la adquisición de este sistema y el tiempo en que la inversión habrá sido saldada.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Disponibilidad total del sistema actual

Del análisis de los datos se calculó una disponibilidad del sistema al 30 de Junio 2020 de 99,51%, es decir, se encuentra dentro de la categoría 2 de la Recomendación IALA O-130 "Categorisation and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation".

Asimismo, de las 68 señales que componen el sistema, 46 (67,6%), se categorizan dentro de la categoría 1, es decir, poseen una disponibilidad de entre 99,8% y 100%. 12 señales (17,6%) corresponden a la categoría 2 (entre 99% y 99,8%), 7 señales (10,3%) corresponden a categoría 3 (entre 97% y 99%), y 1 señal (1,5%) se encuentran con una disponibilidad de entre 95% y 97% y 2 señales (2,9%) poseen una disponibilidad menor a la mínima recomendada.

### 3.2 Funcionamiento en las diferentes etapas

En la etapa inicial se calculó un porcentaje de funcionamiento del sistema de 98,88%, en la etapa de implementación del 99,33% y en la etapa final del 99,59%.

### 3.3 Tendencia de mejora en el tiempo.

En el Gráfico 1 se presenta graficada la evolución en el tiempo de la disponibilidad de todas las señales y el sistema completo

Como muestra el Gráfico 2, la disponibilidad del total del sistema varió entre 99,4% y 99,51%, con una tendencia clara de mejora.

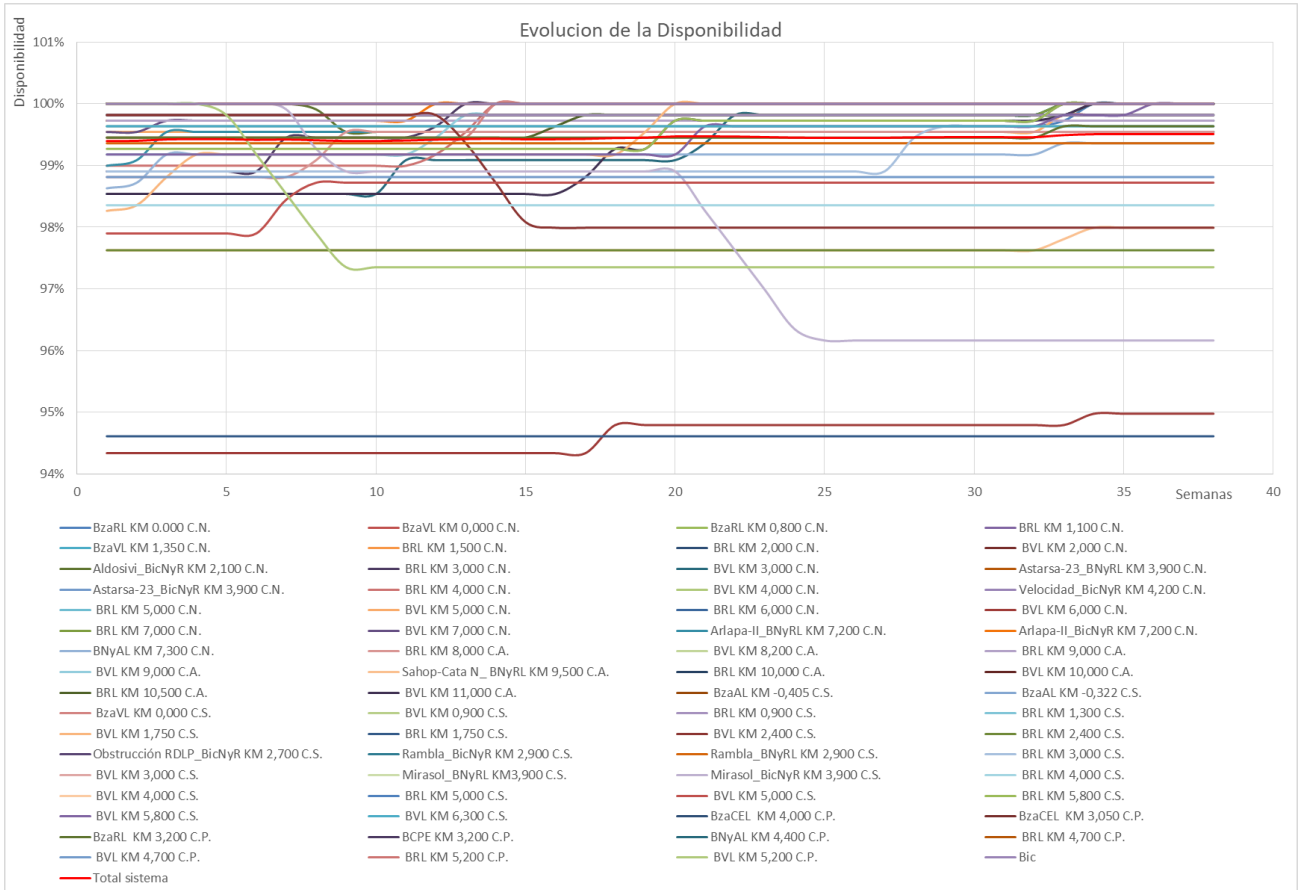


Gráfico 1 Evolucion de la Disponibilidad de todas las señales

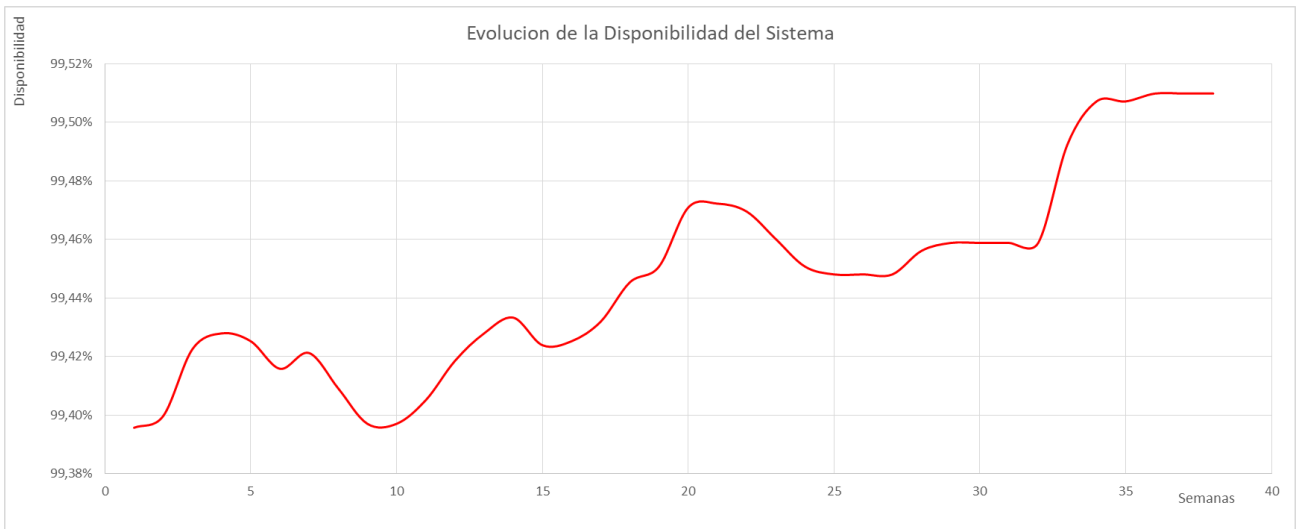


Gráfico 2 Evolucion de la Disponibilidad del Sistema

### 3.4 Mantenimiento previo

De acuerdo a los registros que posee la AGPSE, teniendo en cuenta los datos recabados durante 16 años, desde 1996 hasta 2012 el tiempo medio entre fallas fue de 235 días.

En la actualidad, teniendo en cuenta el periodo de 3 años y 9 meses, el tiempo entre fallas es de 963 días, es decir que la cantidad de fallas promedio disminuyó aproximadamente 4 veces.

### 3.5 Consumo de componentes de balizamiento

A continuación se indica el promedio de consumo anual de los elementos de balizamiento en los periodos contrastados

Material	1996-2016	2016-2020
Paneles Solares	25,50	1,07
Linternas	14,75	-
Baterías	30,50	0,27
Linternas Integradas	1,40	-
Boyas II-B	7,20	1,87
Conjuntos de FONDEO II-B	12,35	6,67
Cuerpo Muerto 2000 kg	6,60	4,53
Boyas I-B	0,40	0,27
Conjuntos de FONDEO I-B	2,10	1,07
Cuerpo Muerto 600 kg	1,05	1,33
Biconos	1,20	1,33
Linternas integradas con AIS	-	1,07

Tabla 2 Consumo de componentes de balizamiento

Teniendo en cuenta los costos de los mismos, se estimó que el gasto promedio anual en elementos de balizamiento en el periodo 1996-2016 fue de USD 227.435 al año. Durante el periodo 2016-2020, el gasto promedio anual en elementos de balizamiento asciende a USD 70.975. Por lo anterior, el ahorro anual es de USD 156.460.

Teniendo en cuenta dichas cantidades, sumadas a la inversión en el sistema de AIS, que incluye no solo las linternas con AIS incorporado, sino también la estación base y los softwares de control y visualización, llevaría 11,14 años recuperar la inversión inicial.

## 4 CONCLUSIÓN

La disponibilidad del sistema calculada (99,51%) se encuentra dentro de la categoría 2 de la Recomendación IALA O-130 "Categorisation and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation", y se entiende acorde a la importancia de las vías navegables.

De las 2 señales cuya disponibilidad es menor a la recomendada, la baja disponibilidad se da debido a que ambas señales, durante el periodo analizado,

presentaron 2 reportes de faltantes cada una, sumados a una demora considerable en el restablecimiento de las condiciones.

La incorporación de la totalidad de linternas con AIS permite un seguimiento constante y permanente de las boyas. Asimismo, permite rescatar boyas a la deriva, con la posterior reutilización tanto de la boya propiamente dicha como la linterna.

Al analizar las diferentes etapas, se ve un incremento en el porcentaje de funcionamiento del sistema, por lo que se espera que la disponibilidad tienda al porcentaje de la etapa final. La variación de la disponibilidad en el tiempo, la cual muestra una mejora sustancial, confirma la tendencia anteriormente mencionada.

En comparación con el mantenimiento que se realizó entre 1996 y 2016, el tiempo entre fallas aumentó y la cantidad de eventos disminuyó drásticamente. Se entiende que esto se da debido a la incorporación de linternas autocontenidas, ya que al ser un solo elemento estanco, disminuye o prácticamente anula las fallas relacionadas con la conexión de los elementos lumínicos y su exposición a las inclemencias del tiempo y las olas. Asimismo, la rápida respuesta ante un evento, y el mantenimiento preventivo que se realiza actualmente (como por ejemplo, observar los fondeos periódicamente y reforzarlos o cambiarlos en caso que se vean próximos a su falla, cambiar las baterías cuando comienzan a presentar tensiones bajas, etc.), permiten que la disponibilidad tienda a aumentar.

La incorporación de linternas integradas con AIS generó una disminución de un 68,8% del gasto promedio anual en elementos de balizamiento. Si bien demandaría 11,14 años recuperar la inversión inicial, el principal beneficio es intangible, pero no por eso menos importante: todas las mejoras que se fueron mencionando a lo largo del presente trabajo contribuyen a una mejora en la seguridad en la navegación.

## REFERENCIAS

- IALA-ASIM (2018), Navguide, Capitulo 8 <https://www.iala-aism.org/product/iala-navguide-2018-digital-copy/>
- IALA-ASIM (2004), Availability and Reliability of Aids to Navigation - Theory and Examples (Guideline 1035) <https://www.iala-aism.org/product/availability-and-reliability-of-aids-to-navigation-1035/>
- IALA-ASIM (2004), Categorisation and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation (Recommendation O-130) <https://www.iala-aism.org/product/r0130o-130-categorisation-availability-objectives-short-range-aids-navigation/>
- García, S. (2015), Implementación de Sistemas de Ayudas a la Navegación. Clase N° 08 [Material del aula], Escuela de Graduados en Ingeniería Portuaria, Universidad de Buenos Aires. [http://www.graduadosportuaria.com.ar/download/via\\_s\\_Navegables/ayudas\\_navegacion/AtoN\\_T8.pdf](http://www.graduadosportuaria.com.ar/download/via_s_Navegables/ayudas_navegacion/AtoN_T8.pdf)