

CAPÍTULO 10: INFORME DE PUESTA A PUNTO DEL CONTROLADOR INFODINA EN PLANTA.

1.- DATOS DEL INFORME.

Este informe se ha llevado a cabo en la Planta cementera de *Polaris World* el día 24 de Julio del 2003.

2.- UBICACIÓN.

La planta en la que se han realizado las pruebas es propiedad del complejo empresarial *Polaris World*, sita en el término municipal de Torre Pacheco (Murcia), carretera de los Alcázares, Km 1. (Plano adjunto en figura 1)



Figura 1.- Plano de ubicación de la planta de *Mar Menor Golf Resort* de *Polaris World*.

Polaris World se trata de una innovadora compañía inmobiliaria fundada en el año 2001, cuyos proyectos son la construcción de amplias zonas residenciales en Murcia con más de 20 millones de m². Este complejo residencial consta de instalaciones tales como: campo de golf, comercios, hoteles, centros de salud, centro social, etcétera.

Los tres proyectos en los que esta implicada actualmente en la región de Murcia son: *Mar Menor Golf Resort*, *La Torre Golf Resort* y *El Valle Golf Resor*.

La planta cementera en la que se esta probando el controlador InfoDina corresponde a la empleada en la realización del proyecto *Mar Menor Golf Resort*.

3.- OBJETO.

El objetivo del informe es analizar el comportamiento del controlador InfoDina desarrollado por Cesser trabajando en una planta real, llevando el control de todos los parámetros de la misma. Con esto se pretende verificar el correcto funcionamiento del sistema diseñado.

4.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.

La instalación sobre la que se trabaja esta compuesta por un conjunto de elementos, los cuales se describen a continuación:

4.1.- Planta cementera.

Se trata de una central de hormigón móvil fabricada por *Frumecar*, modelo CP-3002A (figura 2):



Figura 2.- Fotografía de la central de hormigón móvil utilizada en la planta de *Mar Menor Golf Resort* de *Polaris World*.

Las características de la planta hormigonera son las siguientes:

Mezcladora	Nº de áridos	Capacidad áridos	Nº de cementos	Producción
-	4	30	2	90 m ³

Potencia instalada	Nº de vibradores	Acopio de áridos	Bocas de carga
64 Kw	2	-	1

Tabla 1.- Características técnicas de la central de hormigón móvil modelo CP-3002A.

Además, a esta planta se le han añadido más componentes:

- Quinta tolva de áridos, con sistema de carga a la báscula de áridos mediante cinta transportadora (figura 3). Esta tiene asociado un vibrador.
- Vibradores: Se han añadido varios, en las básculas de cemento (denominados *fluidificadores*) y en las de áridos.



Figura 3.- Fotografía en la que se muestra la quinta tolva acoplada a la planta mediante la cinta transportadora.

Se dispone de una caseta de control, desde donde el plantista controla todo el proceso. Sobre ella se hablara en más adelante.

También se ha dispuesto una rampa que permite a la pala cargadora de áridos realizar el acopio, es decir, la recarga de árido en las tolvas. Esta rampa se puede ver a continuación:



Figura 4.- Rampa de carga para facilitar la carga de las tolvas.

En esta fotografía se pueden ver los paneles metálicos que se usan para la sujeción de la rampa de tierra.

Con esta única central cementera móvil se abastece de hormigón a todo el complejo de *Mar Menor Golf Resort*.

4.2.-Alimentación eléctrica.

El suministro eléctrico se hace por medio de un grupo electrógeno formado por un conjunto motor diesel-alternador, el cual suministra una tensión eficaz de 400 V en corriente alterna.

Se informa del valor de esta tensión de salida del grupo por medio de un display ubicado en el tablero de mando en la caseta de control.

4.3.- Transporte.

El transporte del hormigón se realiza mediante dos camiones-hormigonera marca Mercedes, acondicionados por la empresa *Rumbo* (propiedad de *Frumecar*), modelos RE-7 y RE-10 (figura 5):



Figura 5.- Una de las hormigoneras utilizadas en la planta Polaris World.

Las características generales de los dos modelos de hormigoneras empleados son:

Características	RE-7	RE-10
Capacidad de hormigón (m3)	7	10
Volumen total cuba (L)	11600	16650
% del llenado de la cuba	66	61
r.p.m. de la cuba	0/18	0/18
Capacidad depósito agua (L)	625	770
Peso máquina más accesorios	4200	4830
Angulo de inclinación	15°	12,5°

Tabla 2.- Características técnicas de las hormigoneras *Rumbo* RE-7 y RE-10.

Además, también se realiza el transporte de materiales áridos hasta las tolvas de alimentación que dispone la planta. Este se realiza mediante una cargadora marca *Komatsu* modelo WA-270, mostrada en la fotografía adjunta:



Figura 6.- Cargadora *Komatsu* WA-270, con la que se realiza la carga de áridos en las tolvas.

4.4.- Caseta de control.

En donde el plantista supervisa, controla y ejecuta el proceso completo para la obtención del hormigón. Para la correcta realización de esta práctica, la caseta dispone de los siguientes elementos:

- Tablero de mando: Desde donde se puede controlar completamente la planta, y poder actuar de forma manual en caso de fallo del controlador.
- Controlador: Dispuesto también sobre el tablero de mando. En este caso, la planta esta controla mediante un controlador marca *Leca*, modelo *Cantabria*¹, el cual fue sustituido por el controlador *InfoDina* de *Cesser*.
- Contadores de aditivos: Se dispone de dos de estos contadores, uno por cada vaso de acumulación de aditivos que existe en la planta (figura 7). Su función es la de controlar la cantidad de aditivo que se añade a la mezcla, para ello, estos contadores están colocados a la vista del plantista para comprobar que esta cantidad de aditivos añadidos a la mezcla es la correcta.

¹ Ver Anexo B al final del proyecto, en donde se recoge información general sobre el controlador *Cantabria*.



Figura 7.- Contadores de aditivos, situados en la caseta de control.

4.5.-Depósitos de alimentación.

En la planta se dispone de los depósitos de alimentación de agua y de aditivos:

4.5.1-Deposito de alimentación de agua.

Este depósito cumple la función de almacenar agua para su empleo en el proceso de elaboración del hormigón, por lo que se encuentra en las proximidades de la planta cementera.

Este dispone de una geometría cilíndrica de 20 metros de largo por 3 metros de diámetro, con una capacidad aproximada de más de 140.000 litros.

El tanque de agua se utiliza dado que la planta esta muy alejada de cualquier punto de toma de agua, siendo más rentable el utilizar el tanque que el instalar un conducto de agua solo para este fin.

4.5.2.- Deposito de alimentación de aditivos.

Existen aquí dos depósitos, uno de 12.000 litros para el aditivo 1, y otro de 7.000 litros para almacenar el aditivo 2. El deposito de aditivo 1 es **fluidificante** que hace que el hormigón sea más fluido, mientras que el deposito de aditivo 2 consiste en una sustancia **retardante**, que como su nombre indica, atrasa el fraguado. Ambos depósitos se observan en la fotografía de la figura 8 A.



A)



B)

Figura 8.- A) Depósitos de aditivos 1 y 2.
B) Vasos de aditivos 1 y 2.

Para añadir aditivo al proceso, no se hace directamente desde estos depósitos, sino que se utilizan unos vasos acumuladores de 16 litros de capacidad cada uno (figura 8 B).

Puesto que se trata de compuestos muy concentrados, la determinación de la cantidad a añadir de los mismos debe ser un proceso muy preciso, lo que hace que esta sea muy lenta.

La medida de aditivos al igual que la de agua, se hace por sensor de caudal (caudalímetro) el cual proporciona unos pulsos en función de la cantidad de líquido que pasa. Como se requiere precisión en la determinación de la cantidad de aditivos que se añaden al hormigón, este va a ser un proceso lento, dado que se dan más pulsos por litro que con el agua. Es por ello por lo que debe ser acumulado previamente en los vasos, para cuando llegue el momento de incorporar al proceso, estos descarguen su contenido rápidamente a la vez que el agua.

La ubicación de los vasos será tal que el plantista pueda ver su contenido desde la caseta, observando así el correcto llenado de estos compuestos tan críticos.

4.6.-Tolvas.

Se dispone de un total de siete tolvas de almacenamiento, divididas en dos tipos:

4.6.1.- Tolvas de áridos.

La planta tiene cinco de estas tolvas, y cada una de ellas ubica los siguientes tipos de áridos:

- Tolva 1: Contiene el tipo de árido 1 (gravín 6/12 mm).
- Tolva 2: Contiene el tipo de árido 2 (arena de Fortuna 0,4 mm).
- Tolva 3: Contiene el tipo de árido 3 (arena Hat).
- Tolva 4: Contiene el tipo de árido 4 (grava de 12/20 mm)
- Tolva 5: Contiene el tipo de árido 5 (arena fina).

Las tolvas 1 a 4, se encuentran en una misma estructura dividida en cuatro sectores. Cada sector corresponde a una tolva, con dos bocas de salida por cada una de ellas hacia la báscula de áridos, controladas por compuertas neumáticas. Esto se puede apreciar en la figura 9.

La tolva 5 es independiente a la estructura de cuatro tolvas, estando situada junto a esta. Esta tolva dispone de una sola boca de descarga que permanece siempre abierta, efectuándose la descarga del material contenido mediante una cinta transportadora que vierte el árido directamente a la báscula de pesaje (figura 10).



Figura 9.- Fotografía de las tolvas de 1 a 4 de áridos.

- En la de la izquierda, se pueden apreciar las cuatro tolvas.
- En la de la derecha, se ve el detalle de las bocas de descarga de las mismas.



Figura 10.- En esta figura se observa la tolva del quinto árido. En la fotografía de la arriba se puede ver la disposición de la tolva 5.

En la de abajo se muestra la boca de descarga de esta tolva con la cinta transportadora.

La alimentación de las tolvas de árido, como se menciona en el apartado 4.3 de transporte, se hace mediante una pala cargadora.

Este proceso de acopio de las tolvas de árido puede ser observado en la figura 11.



Figura 11.- En esta fotografía se muestra como se cargan las tolvas con la pala cargadora.

4.6.2.- Tolvas de cemento

Estas tolvas para el almacenaje de cemento, también se suelen denominar silos. Son dos las tolvas que almacenan cemento, ambas de igual tamaño y características (figura 12).



Figura 12.- En la fotografía de la izquierda se distinguen los dos silos de cemento de la planta.

La alimentación de las mismas se realiza mediante un sistema de aire a presión que inyecta el cemento desde el nivel de suelo hasta la parte superior de los silos.



Figura 13.- A la derecha se muestra el sistema de inyección de cemento utilizado para el acopio del mismo.

Estos silos de cemento no se van descargando a la vez, ya que de este modo podría acabarse el cemento y no percatarse de esto el plantista. Por ello, se gasta primero el cemento de una tolva y después el de la otra. Esto se controla desde las formulas de hormigón del propio controlador (ya se vera como se hace esto más adelante).

4.7.-Básculas.

Se disponen de dos básculas, una para áridos y otra para cemento. En la **Báscula de áridos** se pesan todos los áridos del hormigón a producir (incluido el árido 5). Esta se puede ver en la fotografía de la figura 14.



Figura 14.- Báscula de pesaje de áridos a la cual caen todos los áridos a traves de las bocas de la tolva (dos bocas por tolva), excepto la tolva de árido 5 que vierte el árido gracias a una cinta transportadora.

Esta báscula de áridos realiza el pesado gracias a cuatro células de pesaje dispuestas de forma que el peso quede repartido de igual modo en cada una de las mismas. Cada una de las células debe, por tanto, soportar la cuarta parte del peso la báscula.

Dado que el peso máximo de la báscula no debe superar en ningún caso los 12.000 kilos, se pueden emplear las células que soportan hasta los 3.000 kilos de peso, como son las CTC3000 de *Mutronic* (estas se pueden ver en la figura 15).

Las especificaciones técnicas de estas células de pesaje se incluyen en la Especificación Técnica número 1 del *Informe sobre la calibración del controlador InfoDina*, que corresponde al capítulo 9 del presente manual.



Células de pesaje
CTC-3000



Figura 15.- Báscula de áridos en la que se puede ver las células pesaje de uno de los laterales.

En la fotografía de la izquierda se puede ver la apariencia física de estos sensores.

La **Báscula de cemento** determina como es lógico pensar la cantidad de cemento. A diferencia de la anterior esta dispone de tan solo tres células de pesaje, que son incluso más pequeñas que las homónimas de pesado de árido; 3 células CTC-1000, también de *Mutronic*. Esto se hace así porque la báscula de cemento va a realizar medidas mucho más pequeñas que la de árido

Esta báscula se observa en la figura adjunta:

Figura 16.- Báscula de pesaje de cemento, que como se aprecia es mucho más pequeña que la de áridos.

En la figura de abajo se aprecia mejor la disposición de las 3 células de pesaje en la báscula (vista desde abajo). Pudiendo ver en detalle una de las CTC-1000.



4.8.- Elementos de transporte.

Estos elementos se encargan de trasladar el material de un punto a otro. Así en la planta en la que se centra este informe tiene cintas transportadoras, los denominados tornillos sinfín y tuberías.

4.8.1.-Cintas transportadoras

Son dispositivos movidos por motores eléctricos desplazan el material de un punto a otro, ambos cercanos.

En esta planta se dispone de dos cintas, una que mueve el material de la tolva 5 a la báscula de áridos, y otra que lleva los áridos de la báscula hasta el camión.

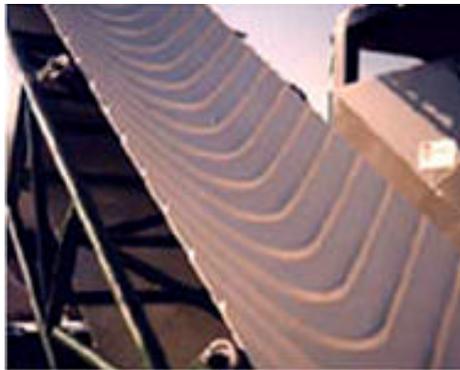


Figura 17.- Cinta transportadora.

Estas cintas van cubiertas por una lona, de modo que durante el transporte de áridos no se produzca mucha polvareda.

4.8.2.-Tornillo sinfín.

Este elemento se encarga de alimentar a la hormigonera con cemento que se descarga de la báscula una vez que este ha sido pesado.

En el gráfico de abajo se representa un tornillo sinfín con igual disposición que el de la planta: por la boca de la izquierda le entra el cemento, el cual cae de la báscula de cemento, siendo desprendido el material por la boca de la derecha directamente a la hormigonera.

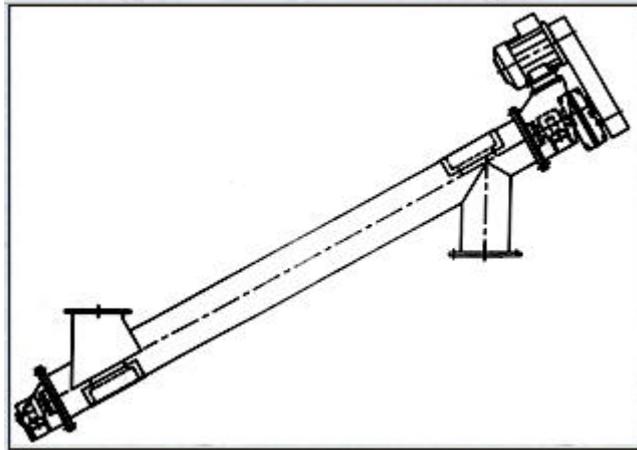


Figura 18.- Esquema gráfico de un tornillo sin fin.

4.8.3.-Tuberías

Es a través de estos conductos por los que se realiza el transporte de los componentes líquidos: agua y aditivos. Estos líquidos deben llegar al camión-hormigonera de forma independiente al resto de elementos que componen el hormigón.

Algo importante, es que cuando se añaden aditivos al hormigón, esto se debe hacer a la misma vez que el agua, para que de esta forma se vayan disolviendo.

En la siguiente fotografía se puede observar la disposición real en planta de los distintos elementos de transporte de materiales citados anteriormente:

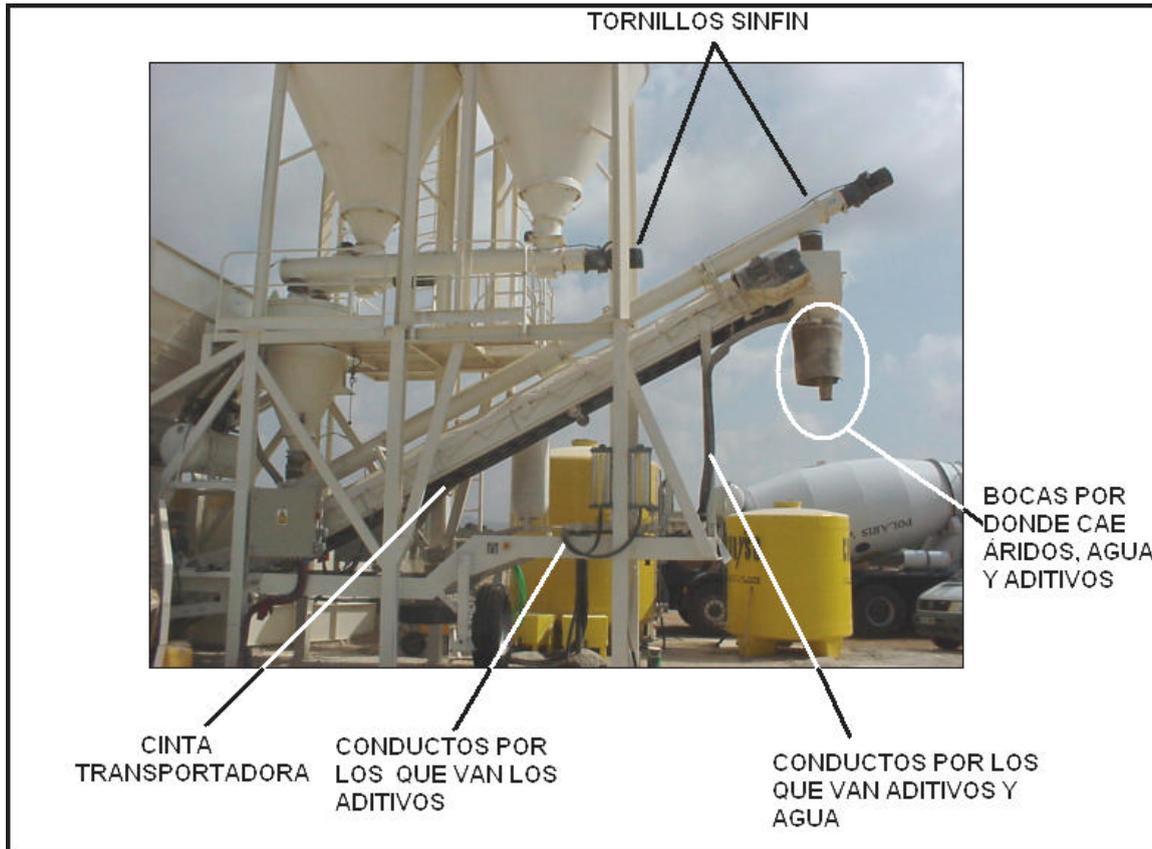


Figura 19.- Imagen de la planta, en la cual se pueden apreciar claramente todos los elementos que realizan el transporte de material. Como se puede ver, el agua más los aditivos van hasta la hormigonera por un conducto independiente al de caída de áridos.

5.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

Una vez descritas las instalaciones, se pasa a la explicación de todo el proceso, puesta a punto y funcionamiento del controlador InfoDina en la planta.

A partir de este punto es donde comienza la parte realmente importante del informe, siendo el anterior un preámbulo para dar una idea general de cómo es la planta en donde se trabaja.

5.1.- Instalación eléctrica.

En primer lugar se realiza todo el conexionado eléctrico del controlador InfoDina. Para ello se desconecta el controlador con el que estaba trabajando la planta, en este caso se trata del controlador *Cantabria* (el cual ha sido ya mencionado anteriormente).

Acto seguido se conecta el InfoDina (que es el controlador objeto del informe) al que se le conectarán las mismas entradas y salidas que tenía el anterior.



Figura 20.- En esta fotografía se muestra como se cambia el controlador Cantabria por el InfoDina, que se ubica en el tablero de mando.

5.2.- Calibración.

Una vez hecha la instalación del controlador, el siguiente paso es el de calibrar las dos básculas de que se dispone (árido y cemento), trazando para ello la *recta de calibración*.

Este proceso se explica de forma detallada en el anterior informe: **Test de fábrica**, que recoge todo el procedimiento que hay que seguir para calibrar las básculas. Es por lo que no se va a entrar en muchos detalles en la explicación del proceso:

- I. En primer lugar se toma el primer punto de la recta de calibración, para lo que se deja la báscula sin carga alguna, y se toma en valor de cuentas que proporciona el conversor A/D del controlador.
- II. A continuación se van cargando pesas normalizadas de 20 Kg. cada una, hasta un total de 10 pesas. En la fotografía se ve como quedan las básculas cuando están cargadas con las pesas.



Figura 21.-Báscula de cemento cargada con las 10 pesas de 20 Kg; 200Kg en total.

Como se puede ver en la fotografía, se deben colocar las pesas de modo que se reparta el peso en la báscula, con el fin de que se realice una correcta calibración.

- III. Con todas las pesas cargadas, se tiene un peso total de 200Kg en la báscula. Con este peso es con el que se toma el segundo punto de la recta de calibración gracias al valor de cuentas equivalente a ese peso en el convertidor A/D.

Se muestran a continuación los puntos de la recta de calibración obtenidos, siendo aquí distintos a los empleados en el anterior informe, ya que se utilizan pesos diferentes para calibrar el sistema.

Cabe mencionar que para la obtención de la nombrada recta de calibración, es aconsejable disponer de dos puntos lo más alejados posible, para de este modo minimizar al máximo la desviación que se puede llegar a producir entre la recta de calibración real y la ideal. No obstante, como en este caso se está haciendo la calibración de una planta real, los pesos utilizados para obtener los puntos de la recta no pueden ser muy altos, por razones funcionales. Se debe llegar por tanto a un compromiso, que se alcanza con los pesos empleados: 0 y 200 Kg.

En este caso, se utiliza el canal 0 para la **báscula de cemento**, consiguiendo los siguientes puntos de la recta de calibración buscada:

- *Punto 1:*
 - Kilos: 0 Kg.
 - Cuentas: -11041.

- *Punto 2:*
 - Kilos: 200 Kg.
 - Cuentas: -9331.

Para la **báscula de áridos** conectada al canal 1 del controlador, se obtienen los puntos:

- *Punto 1:*
 - Kilos: 0 Kg.
 - Cuentas: -8653.
- *Punto 2:*
 - Kilos: 200 Kg.
 - Cuentas: -8230.

Una vez conseguida la recta de calibración, se debe comprobar la desviación que se produce entre la recta real y la que calcula el sistema. Para ello, se van midiendo diversos pesos conocidos (gracias a las mismas pesas de 20 Kg empleadas antes) y se comparan con los valores que presta el controlador. De esta forma, se verifica que las básculas han sido calibradas de forma satisfactoria, ya que se obtiene un error muy pequeño y con unas oscilaciones mínimas.

Cabe mencionar que para el mismo peso, se obtiene en cada uno de los canales del conversor A/D distintos incrementos de cuentas; debido a que el canal 0 conectado con la báscula de cemento tiene un fondo de escala mayor que el canal 1, al que se conecta la báscula de árido. Esto es así, dado que para la realización de hormigón, el cemento requiere una mayor precisión de pesado que el árido, teniendo la báscula de cemento más cuentas por kilos que la de árido.

Una vez calibrado, se muestran los datos del fichero de calibración (fichero que se genera automáticamente al realizar la calibración):

- *Canal 0 (báscula cemento).*
 - Ganancia: 0,116959.
 - Offset: 1291,34.
- *Canal 1 (báscula árido).*
 - Ganancia: 0,472813.
 - Offset: 4091,25.

Se debe comprobar que los valores de la base de datos coinciden con los del fichero de calibración.

5.3.-Comprobación de señales y contactores.

El siguiente paso es comprobar el correcto funcionamiento de todas las entradas al sistema y observar de igual modo que la salida que se produce es correcta:

- Las señales externas, es decir, de planta a comprobar en este sistema se reducen a dos:
 - La señal de *Inhibición a la descarga*.
 - La señal de *Emergencia*.
- De otro lado está la verificación de salidas, estas son las correspondientes a los 48 relés asociados cada uno a su contactor y que controla completamente el sistema. Para estos contactores se deben ir confirmando su correcto funcionamiento uno a uno.

Si se comprueba que todo funciona correctamente, que este es el caso, se puede pasar al siguiente punto.

5.4.-Ejecución del software de control.

Una vez que esta todo conectado y funcionando se pasará a ejecutar el software de control. En primer lugar se debe configurar la planta en el Entorno de Edición, en donde se realiza la planta con todos sus elementos, se asignan los procesos, se configuran los parámetros, etc. Una vez hecho todo esto, desde el mismo Editor se transmite la planta al controlador.

Con la planta programada en la memoria del controlador, se ejecuta el programa de Monitorización, que es desde donde se hace el seguimiento del funcionamiento del proceso completo. La ventana que se muestra del entorno Monitor con la planta en cuestión es:

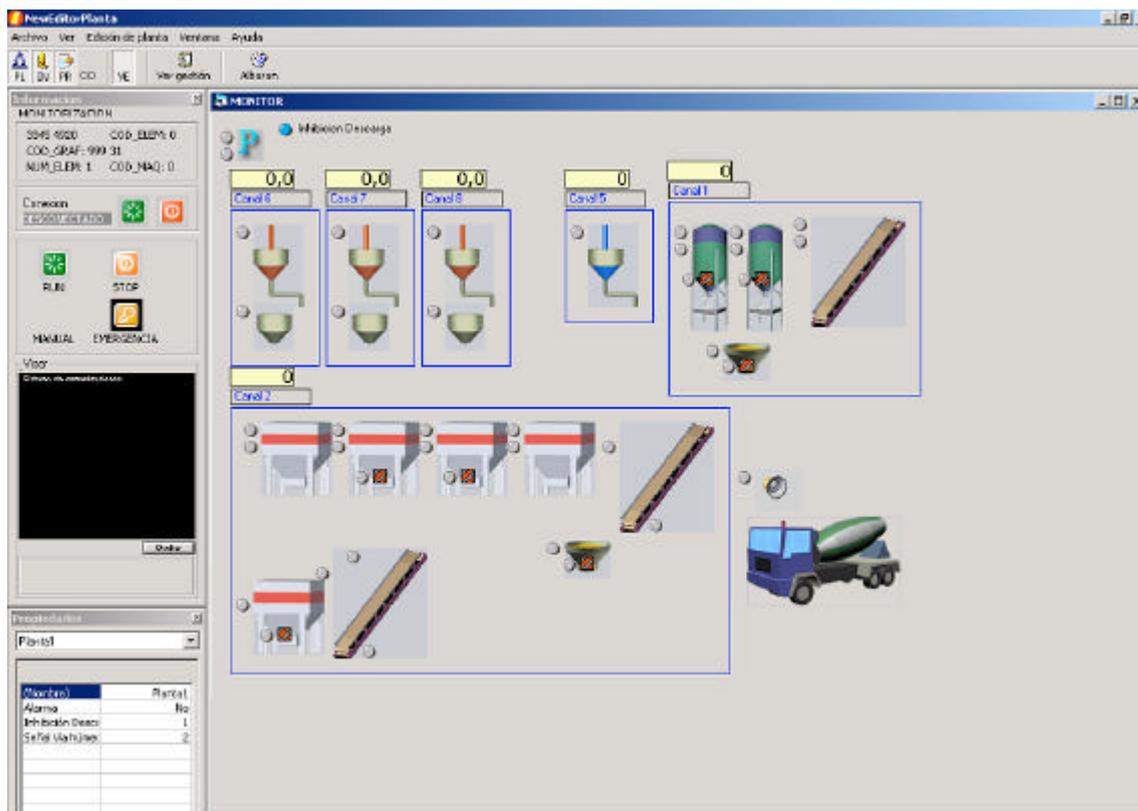


Figura 22.- Pantalla que se muestra en el entorno de Entorno de esa planta. Aquí se diferencia los canales utilizados, las tolvas, básculas... en definitiva se observan los distintos elementos que componen la planta

Desde el propio entorno de Monitorización es donde se realiza la configuración de diversos parámetros funcionales de la planta, como son las consignas (cantidad cada tipo de material que se añade a la mezcla), venas, etc.

5.4.1- Ajustes de parámetros.

Los parámetros que se configuran de la planta son:

- Tiempos de reapertura rápida de las compuertas de las tolvas.

Este parámetro se configura directamente desde la Ventana de Propiedades de Elementos, debiendo ajustarlo para conseguir el compromiso entre la precisión en la medida y la rapidez.

Si se le da un tiempo pequeño, se consigue una mayor precisión en detrimento de la rapidez, mientras que al aumentar el valor del tiempo de las reaperturas, se hace más rápido el proceso (dado que se llega antes al valor de consigna), pero se pierde precisión.

Se puede configurar también las básculas para que hagan las reaperturas en el último de ciclo, de modo que no se pierde tiempo en realizarlo en cada uno de los ciclos.



Figura 23.- En el proceso de reapertura rápida, los pistones neumáticos de las bocas de las tolvas se abren y cierran repetida y rápidamente. En la figura se puede contemplar como mientras la boca de la izquierda está en fase de apertura la de la derecha esta cerrada.

- Venas de las tolvas.

En esta primera prueba, se pone un tipo de vena fija² para todas las tolvas. A las tolvas de árido 1 a 4, se le asigna un valor de 200 Kg, a la de árido 5, una vena de 50 Kg, mientras que a la de cemento una de 30 Kg.

Al árido 5 y al cemento se les asigna una vena menor, porque en este caso el material no cae directamente a la báscula como en el caso del árido 1 a 4, ya que en el árido 5 tenemos una cinta que transporta el material y en el cemento es un tornillo sinfín el que transporta el material hasta la báscula.

Este valor de vena puede cambiar en función de la cantidad de hormigón que se pretende obtener. Aunque en este caso, para los

² La vena es la cantidad de material que cae a la báscula una vez se ha ordenado el cierre de las compuertas de salida de las tolvas. Esta vena puede ser de dos tipos; fija o dinámica.

Cuando es fija tiene siempre el mismo valor (valor teórico aproximado), mientras que cuando es dinámica el sistema va modificando su valor en función de los producidos en las anteriores descargas (se auto-ajusta al valor real).

valores de 1.5, 2, 2.5 y 3 m³ de hormigón se emplea en mismo valor de vena fija.

5.5.- Pruebas de tirada.

Este punto es el más importante del presente informe, ya que en él se recogen los resultados de las pruebas realizadas con el controlador InfoDina en la producción de hormigón, al trabajar en la planta de Polaris World.

Se van a realizar diversas pruebas con diferentes tipos y cantidades de hormigón, mostrando los datos conseguidos para dar una valoración objetiva del funcionamiento del controlador.

Hay gran cantidad de tipos de hormigón (hormigón de limpieza, mortero, hormigón armado, de bombeo, etc...), los cuales se determinan en función de la fórmula utilizada para su elaboración. Muchas de estas formulas están normalizadas, y son introducidas al controlador para poder obtener de esta forma los distintos tipos de hormigón requeridos.

Se muestra a continuación una tabla con las formulas de hormigón más comunes que se emplean, que ha sido extraída de la base de datos del controlador.

TABLA DE FÓRMULAS DE COMPOSICIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE HORMIGÓN

NOMBRE FÓRMULA	TIPO DE HORMIGÓN	CEMENTO 1 (Kg / m ³)	CEMENTO 2 (Kg / m ³)	ÁRDO 1 (Kg / m ³)	ÁRDO 2 (Kg / m ³)	ÁRDO 3 (Kg / m ³)	ÁRDO 4 (Kg / m ³)	ÁRDO 5 (Kg / m ³)	AGUA (L / m ³)	ADITIVO 1 (L / m ³)	ADITIVO 2 (L / m ³)	ADITIVO 3 (L / m ³)
L-100	Hormigón de Limpieza	120	0	350	500	500	650	0	160	0	0	0
HA-25B/20	Hormigón Armado	280	0	425	475	475	580	0	178	2,33	0	0
HA-20B/20	Hormigón Armado	230	0	350	500	500	650	0	160	0,75	0	0
HA-30B/20	Hormigón Armado	315	0	425	460	460	580	0	180	2,64	0	0
HA-35B/20	Hormigón Armado	350	0	425	440	440	580	0	185	2,96	0	0
M-R080	Mortero	350	0	0	0	0	0	1500	250	0	0	5
S-M00/20		200	0	400	500	500	600	0	100	0	0	0
B-00/60	Hormigón de Bombeo	125	0	400	500	500	600	0	150	0	0	0
HA-15B/20	Hormigón Armado	180	0	400	500	500	600	0	165	0,25	0	0
HA-25B/20	Hormigón Armado	0	280	425	475	475	580	0	178	2,33	0	0
HA-30B/20	Hormigón Armado	0	315	425	460	460	580	0	180	2,64	0	0
HA-35B/20	Hormigón Armado	0	350	425	440	440	580	0	185	2,96	0	0
HA-B0/60	Hormigón Armado	0	125	400	500	500	600	0	155	0	0	0
L-100	Hormigón de Limpieza	0	120	350	500	500	650	0	160	0	0	0
M-600/0	Mortero	0	300	0	0	0	0	1600	225	0	4	4
M-880/00	Mortero	0	350	0	0	0	0	1500	250	0	5	5
M-600/0	Mortero	300	0	0	0	0	0	1600	225	0	4	4
M-400/0	Mortero	250	0	0	0	0	0	1600	200	0	3,5	3,5
M-400/0	Mortero	0	250	0	0	0	0	1600	200	0	3,5	3,5

Tabla 3.- Tabla de las fórmulas de composición de los diferentes tipos de hormigón.

Se debe mencionar que aunque estas fórmulas están normalizadas, siempre cabe la posibilidad de cambiar la mezcla en función de las necesidades. Esto suele hacerse sobre todo con el hormigón de limpieza (del que se hablará a continuación) ya que al ser un hormigón no crítico, se puede variar sin problemas.

Como se puede observar en la tabla de fórmulas del hormigón, algunas de ellas se repiten (L-100, HA-25/B/20, HA-30/B/20, M-60/0/0...) ³ en función de su mayor o menor utilización, con la única diferencia de que el cemento utilizado para la mezcla se toma del silo 1 o del 2, nunca de ambos simultáneamente. De esta forma se va gastando primero el cemento de un silo, y una vez que este se ha agotado se cambia la fórmula del hormigón para hacer uso del otro silo. De esta forma es más fácil para el plantista controlar los niveles de cemento de los silos para que no se acabe de ambos simultáneamente.

Una vez visto todo esto, se comienzan con las pruebas de tirada de hormigón:

5.5.1.- Primera tirada: 1 m³ de hormigón de limpieza.

Se va a realizar una primera prueba con la tirada de 1 m³ de hormigón de limpieza (L-100). Este tipo de hormigón se utiliza para fines tales como rellenar zanjas, hacer pisos, etc..., por lo que no tiene porque cumplir unas características demasiado exigentes, ya que es un hormigón de baja calidad.

Es por esta razón por lo que resulta idóneo para realizar las primeras pruebas, ya que en caso de un pequeño error en las medidas, el hormigón aun así puede ser utilizado.

Configurado todo, se introduce la formula del hormigón de limpieza y se pone en marcha el sistema, obteniendo la siguiente tabla de datos 4, en la que se muestran los valores de consigna que se seleccionan, el valor real utilizado, así como el error producido en este proceso y el porcentaje de desviación.

³ Toda esta nomenclatura es explicada en el Anexo II, que trata sobre el hormigón.

Componente	Valores de consigna	Valores reales	Error	Desviación (%)
Cemento	125 Kg.	125 Kg.	0 Kg.	0
Árido 1	300 Kg.	330 Kg.	30 Kg.	10
Árido 2	500 Kg.	538 Kg.	38 Kg.	7,6
Árido 3	500 Kg.	510 Kg.	10 Kg.	2
Árido 4	700 Kg.	736 Kg.	36 Kg.	5,14
Árido 5	-	-	-	-
Agua	160 l.	160 l.	0 l.	0
Aditivo 1	-	-	-	-
Aditivo 2	-	-	-	-

Tabla 4.- Datos de salida obtenidos en la primera tirada de 1 m³ de hormigón de limpieza.

Cabe comentar que para el cálculo del factor *Desviación (%)* se ha utilizado la expresión:

$$\% \text{ Desviación} = (\text{Error} / \text{Valores de consigna}) * 100$$

Este parámetro mide la desviación, en tanto por ciento, que se produce entre la cantidad de material consigna determinada en la fórmula del hormigón requerido, y el valor que realmente se añade a la mezcla. La desviación máxima permitida es de un 3 %.

El comentario de los datos obtenidos en este punto, así como en los posteriores se tratará más adelante en el punto de *Análisis de los resultados*.

5.5.2.- Segunda tirada: 4 m³ de hormigón de limpieza.

En este caso van a ser 4 m³, también de hormigón de limpieza los que se van a sacar. Como la planta de que se dispone tiene una capacidad limitada, sólo puede proporcionar 2 m³ de hormigón de estas características por ciclo, debiendo repetir cada ciclo dos veces para preparar la cantidad especificada.

Se siguen utilizando los parámetros de la tirada anterior, con lo que se consiguen los siguientes resultados:

Componente	Valores de consigna	Valores reales	Error	Desviación (%)
Cemento	500 Kg.	542 Kg.	42 Kg.	8,4
Árido 1	1200 Kg.	1224 Kg.	24 Kg.	2
Árido 2	2000 Kg.	2018 Kg.	18 Kg.	0,9
Árido 3	2000 Kg.	2007 Kg.	7 Kg.	0,35
Árido 4	2800 Kg.	2819 Kg.	19 Kg.	0,68
Árido 5	-	-	-	-
Agua	640 l.	640 l.	0 l.	0
Aditivo 1	-	-	-	-
Aditivo 2	-	-	-	-

Tabla 5.- Datos de salida obtenidos en la segunda tirada de 4 m³ de hormigón de limpieza.

5.5.3.- Tercera tirada: 6 m³ de hormigón de limpieza.

Con esta tercera tirada se carga un nuevo camión al que se le van a introducir 6 m³ del mismo tipo de hormigón que en los casos anteriores. Por la misma razón que en el segundo caso, es necesario el realizar más de un ciclo de elaboración para obtener la cantidad requerida, en este caso como son 6 m³, se realizará en tres ciclos.

Para hacer más precisa la cantidad de árido que se le añade a la mezcla, se cambian las venas de las tolvas de árido 2 y 3, de 200 Kg a un valor de 100 Kg, no cambiando ninguno de los demás parámetros.

Los valores obtenidos tras la carga de este segundo camión son:

Componente	Valores de consigna	Valores reales	Error	Desviación (%)
Cemento	750 Kg.	750 Kg.	0 Kg.	0
Árido 1	1800 Kg.	1837 Kg.	37 Kg.	2,05
Árido 2	3000 Kg.	3032 Kg.	32 Kg.	1,07
Árido 3	3000 Kg.	2973 Kg.	27 Kg.	0,9
Árido 4	4200 Kg.	4236 Kg.	36 Kg.	0,86
Árido 5	-	-	-	-
Agua	1000 l.	1000 l.	0 l.	0
Aditivo 1	-	-	-	-
Aditivo 2	-	-	-	-

Tabla 6.- Datos de salida obtenidos en la tercera tirada de 6 m³ de hormigón de limpieza.

5.5.4.- Cuarta tirada: 1 m³ de mortero.

Para esta cuarta prueba se requiere hormigón de tipo mortero, por lo que se cambia la fórmula de hormigón de limpieza a mortero del tipo MR80/0/0.

Este posee unas mejores características, siendo utilizado para unas aplicaciones tales como estucado de fachadas y pisos, ya que al no presentar graba en su composición, es un material más fino que el hormigón de limpieza.

Los datos de salida se reflejan en la tabla 7:

Componente	Valores de consigna	Valores reales	Error	Desviación (%)
Cemento	350 Kg.	355 Kg.	5 Kg.	1,43
Árido 1	-	-	-	-
Árido 2	-	-	-	-
Árido 3	-	-	-	-
Árido 4	-	-	-	-
Árido 5	1500 Kg.	1512 Kg.	12 Kg.	0,8
Agua	250 l.	250 l.	0 l.	0
Aditivo 1	-	-	-	-
Aditivo 2	5 l.	5 l.	0 l.	0

Tabla 7.- Datos de salida obtenidos en la cuarta tirada de 1 m³ de mortero.

Para la tirada de este tipo de hormigón, ha sido necesaria la configuración de un nuevo parámetro: *Factor de mortero*, que se encuentra en el programa de Gestión, en la ventana *Datos de la planta* del archivo *Configuración*. Este es un factor de valores de 0 a 1 y que se utiliza solamente cuando se elabora este tipo de masa.

Este *Factor de mortero* lo que hace es adecuar la capacidad de la planta a la cantidad de material obtenido por ciclo de trabajo. Como el mortero utiliza un sólo tipo de árido (arena fina) al verter éste en la báscula hace una montaña que puede llegar a obstruir la apertura de la tolva, no pudiendo descargar más arena. Por eso se introduce este factor que limita la cantidad de arena (y con esto la cantidad de mortero que se puede obtener, ya que hay que ceñirse a las fórmulas) al máximo para que no se produzca este problema.

5.5.5.- Quinta tirada: 6 m³ de hormigón de limpieza.

En esta quinta y última tirada, se llena otro camión de hormigón de limpieza, aunque con la salvedad de que en esta tirada se va a probar la señal de software de *Inhibición a la Descarga* (ID). Esto al final debe de dar unos resultados idénticos a las anteriores tiradas.

Los datos para esta tirada son:

Componente	Valores de consigna	Valores reales	Error	Desviación (%)
Cemento	750 Kg.	753 Kg.	3 Kg.	0,4
Árido 1	1800 Kg.	1901 Kg.	101 Kg.	5,6
Árido 2	3000 Kg.	3050 Kg.	50 Kg.	1,6
Árido 3	3000 Kg.	3282 Kg.	282 Kg.	9,4
Árido 4	4200 Kg.	4757 Kg.	557 Kg.	13,26
Árido 5	-	-	-	-
Agua	1000 l.	1000 l.	0 l.	0
Aditivo 1	-	-	-	-
Aditivo 2	-	-	-	-

Tabla 8.- Datos de salida obtenidos en la quinta tirada de 6 m³ de hormigón de limpieza.

En esta tirada también se ha dado constancia de la cantidad de material requerido por ciclo, ya que tras cada uno de ellos se inhibe la descarga de las básculas, estos datos se recogen en la tabla siguiente:

Componente	Ciclo 1 (Kg.)	Ciclo 2 (Kg.)	Ciclo 3 (Kg.)
Cemento	260	243	242
Árido	4642	4024	4352

Tabla 9.- Cantidad de material pesada por ciclo en la última tirada de hormigón.

6.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

En este punto se van a evaluar los datos obtenidos de las distintas tiradas de hormigón anteriormente expuestos. Además, se indica en caso de obtener datos atípicos cual es la causa de este hecho, y que parámetros se deben modificar en la planta para poder mejorar los resultados.

6.1.- Primera tirada.

En la primera tirada que realizada, de 1 m³ de hormigón de limpieza (L-100) se han obtenido unos resultados aceptables, aunque no son realmente buenos, ya que en varias de las dosificaciones de los materiales se supera el máximo % de desviación, que esta en el 3%.

Observando la columna de % *desviación* se ve como en el caso del aditivo 1, aditivo 2 y el aditivo 4 sobrepasan bastante el porcentaje límite.

Como solución para intentar paliar esto se han modificado los tiempos de reapertura rápida y las venas.

6.2.- Segunda tirada.

Esta tirada se ha realizado tras modificar los parámetros anteriormente citados.

Contemplando la tabla 5 se puede decir que el ajuste de las venas de áridos es bueno, en cambio el de cemento no, porque el error producido asciende al 8,4 %. Se deberá modificar de nuevo la vena del cemento.

Otro factor a tener en cuenta es la cantidad de hormigón que se esta produciendo. Parece lógico pensar que a mayor cantidad en una misma tirada menor es el error cometido (ya que la desviación es inversamente proporcional a la cantidad de material que se añade), en esta tirada la cantidad ha ascendido a 4 m³, el cuádruple que en la primera.

6.3.- Tercera tirada.

Se producen en esta 6 m³ de hormigón de limpieza, una vez modificada la vena de cemento, obteniendo en este caso unos valores de error por debajo de lo no permitido en todos los casos.

Estos datos son muy buenos, pero la producción presenta ahora el otro inconveniente: los tiempos son demasiado elevados.

Para intentar solucionar este problema, se modifican hora los tiempos de reapertura rápida.

6.4.- Cuarta tirada.

En esta tirada se elabora hormigón de mortero, constituido únicamente por un tipo de árido (el árido de la tolva 5), el cual se encuentra en otra tolva y como se ha comentado su vertido a la báscula de áridos se realiza con una cinta transportadora.

Como se observa en la tabla de resultados numero 7, los errores de esta tirada son realmente buenos, caracterizándose por unos valores muy precisos.

En esta tabla, a diferencia de los casos anteriores, aparecen los aditivos, que no presentan desviación, dado que su medida es precisa.

6.5.- Quinta tirada.

En la última prueba se desean obtener 6 m³ de hormigón de limpieza, con lo cual la tirada se lleva a cabo en 3 ciclos. En cada uno de ellos se produce un ajuste al final del proceso mediante la reapertura rápida de las bocas de las tolvas o ajuste dinámico de las venas, llevándose a cabo en los ciclos 2 y 3 un ajuste de los niveles anteriores, tal como se muestra en la tabla 6.

Así por ejemplo la primera tirada de cemento es 260 Kg.; para contrarrestar esto en la segunda tirada las consignas se han establecido automáticamente en un nivel más bajo de forma que se pueda paliar el error cometido en el primer ciclo. Es por ello por lo que en los ciclos 2 y 3 la tirada está en torno a los 240 Kg; aun así se ha acumulado un error de 3 Kg, que se traducen en un 0,4 % de error de desviación.

Sin embargo en el caso de los áridos se han producido errores bastante más significativos, esto va ligado a unos tiempos de reapertura incorrectos (demasiado elevados).

El inconveniente de este método es el tiempo de retardo que introduce al proceso, ya que tras cada ciclo realiza, durante un tiempo, apertura rápida. Como solución se implantará un sistema en el cual solamente se realice la apertura rápida de puertas al final de toda la tirada, es decir, en el último ciclo. Lográndose de esta forma un buen ajuste además de un tiempo de carga de hormigoneras más reducido.

7.- CONCLUSIONES.

En términos generales y en relación a los datos comentados anteriormente en el apartado de *Análisis de los resultados*, se pueden establecer unas conclusiones generales acerca del funcionamiento del controlador InfoDina en una planta real, ratificando los resultados que se obtenían en el laboratorio, mediante el emulador de señales.

El hecho de probarlo en una planta real se debe a que siempre existen situaciones que no se presentan en las simulaciones. Es esto precisamente lo que se ha explicado en el desarrollo de este informe: el ajuste de los tiempos de apertura, los valores de vena, y en general de todos los parámetros que permitan obtener unos resultados más precisos.

Los resultados, en términos generales no son malos, pero son mejorables. No por problemas del controlador, el cual ha trabajado excelentemente, sin ningún tipo de problema funcional o de conexión. Son mejorables en lo que se refiere al ajuste más preciso de los parámetros, hasta el punto de lograr un % de desviación nulo.