



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

ESTUDIO DEL TIEMPO DE RESPUESTA DE LOS SISTEMA DE FRENOS NEUMÁTICOS EN VEHÍCULOS REMOLCADOS

***Cazzola Gustavo José **, *Arias Rubén Eduardo*, *García José Luís*, *Mirassou Horacio Martín*,
Ramos Alfredo.**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional General Pacheco, Departamento de
Ingeniería Mecánica.

Hipólito Irigoyen 288, General Pacheco (B1617FRP), Buenos Aires, Argentina

Correo-e: gcazzola@arnet.com.ar

RESUMEN

El sistema de frenos es el sistema primario en los vehículos que garantiza su seguridad en la ruta. El sistema de frenos debe operar con el menor esfuerzo por parte del conductor y detener el vehículo dentro de la mínima distancia posible sin perder capacidad de control. El tiempo de reacción del conductor y el tiempo de respuesta del sistema de freno influyen en la distancia de frenado. En vehículos equipados con sistemas neumáticos de frenos, tales como ómnibus, camiones y remolques, el tiempo de respuesta del sistema de freno es un parámetro determinante en la distancia de frenado, el cual se ve influenciado por la longitud de los vehículos, siendo crítico en vehículos combinados, tales como camiones con acoplados o unidades tractores con semirremolques. En este trabajo se desarrolla un estudio experimental de los factores que influyen en el tiempo de respuesta en circuitos neumáticos de frenos de vehículos remolcados mediante la utilización de transductores de presión y sistema electrónico de adquisición de datos que permite registrar la presión en función del tiempo en el circuito de freno. Los resultados obtenidos han permitido determinar la influencia de longitudes y diámetros de cañería, válvulas y depósitos de almacenaje de aire, en el tiempo de respuesta del sistema de freno, permitiendo optimizar el tiempo de respuesta de este tipo de sistema de freno.

Palabras Claves: *Frenos neumáticos, tiempo de respuesta, Vehículos comerciales.*



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de frenos de frenos en los vehículos representa el principal sistema de seguridad activa, ya que debe permitir detener el vehículo en forma segura, esto implica que debe hacerlo en la menor distancia posible manteniendo la estabilidad del vehículo. La distancia de frenado depende de la eficiencia del sistema de frenos instalado, es decir de la capacidad del mismo de generar las fuerzas necesarias para detener la marcha del mismo, y del tiempo de respuesta del sistema, que es el tiempo que transcurre desde que se acciona el comando de frenos hasta que comienza a actuar el sistema de frenos para detener al vehículo.

Los sistemas de frenos neumáticos (aire comprimido), son ampliamente utilizados en vehículos para transporte de pasajeros (ómnibus urbanos y de larga distancia) y en vehículos para transportes de cargas (camiones, remolques y semirremolques).

En los semirremolques se utilizan generalmente los sistemas de frenos neumáticos (figura 1) en vehículos con un peso bruto total generalmente mayor a 10.000 kg. En estos tipos de vehículos de gran porte, que suelen tener longitudes que oscilan entre los 8 m a los 15 m, el tiempo de respuesta del sistema de frenos está influenciado por la longitud de las tuberías que depende de la longitud de los vehículos, y la posición de los ejes en los mismos [1] [2].

Por lo anteriormente expuesto, en el presente trabajo se estudia el tiempo de respuesta de un sistema de frenos por aire comprimido de un vehículo remolcado, para determinar las variables que influyen en el mismo.

2. Descripción de los sistemas de frenos neumáticos en vehículos remolcados

Los sistemas de frenos en los vehículos remolcados (figura 1) deben cumplir las siguientes condiciones:

Estará compuesto por tres sistemas, un sistema de freno de servicio, un sistema de freno de estacionamiento y un sistema de frenado automático.

El freno de servicio debe procurar detener el vehículo en forma segura manteniendo el control del mismo, permitiendo la graduación de la acción de frenado ante distintas condiciones de velocidad y de carga del vehículo.

El freno de estacionamiento debe hacer posible que tanto el vehículo vacío o cargado, quede estacionado, ya sea en una pendiente ascendente o descendente.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

El frenado automático debe permitir detener en forma automática al vehículo remolcado en caso que se produzca una avería en el sistema de alimentación de aire comprimido o una separación mecánica entre el vehículo tractor y el semirremolque.

El sistema de freno de servicio del semirremolque es comandado por medio de una válvula relay, la cual tiene como finalidad producir el accionamiento de las cámaras de freno. La misma recibe la señal de frenado desde la unidad tractora. Esta señal es previamente modulada por una válvula, en la que su modulación depende del estado de carga del vehículo. Posteriormente la señal de presión modulada ingresa a la válvula relay, la que se encarga en forma proporcional a la señal de entrada que ingresa, de entregar el aire almacenado en los reservorios a las cámaras de freno, para producir el frenado del vehículo. Una vez que la señal de freno deja de actuar, se produce la descarga del aire que se encuentra en las cámaras de freno, a través de las válvulas de descarga rápida.

La aplicación o liberación del sistema de freno de estacionamiento, es comandada mediante una válvula controladora de las cámaras de freno de resorte (Spring Brake), la que, al desconectar el sistema de frenos del remolque de la unidad tractora, produce

Cuando la unidad remolcada es conectada a la unidad tractora, la línea de aire permanente (cañería color rojo), pasa a través del pulsador de frenado, y llega al depósito de aire a través de la válvula de control de las cámaras de freno de resorte. Dicha válvula realiza el control del pasaje de aire desde el depósito a la cámara de freno de resorte para producir la liberación del freno de estacionamiento. Cuando se desconecta la unidad remolcada de la unidad tractora, se produce la descarga del aire contenido en las cámaras de resorte a través de la válvula de control, quedando la unidad frenada con el freno de estacionamiento.

El botón de des frenado, permite liberar el freno de estacionamiento sin que la unidad remolcada se encuentre conectada a la unidad tractora, mediante el aire acumulado en el depósito de aire.

El frenado automático del remolque actúa cuando se produce una avería en las tuberías de aire permanente. Para ello utiliza las válvulas del circuito del freno de estacionamiento, para realizar la descarga del aire contenido en las cámaras del freno a resorte, produciendo el frenado automático de la unidad.

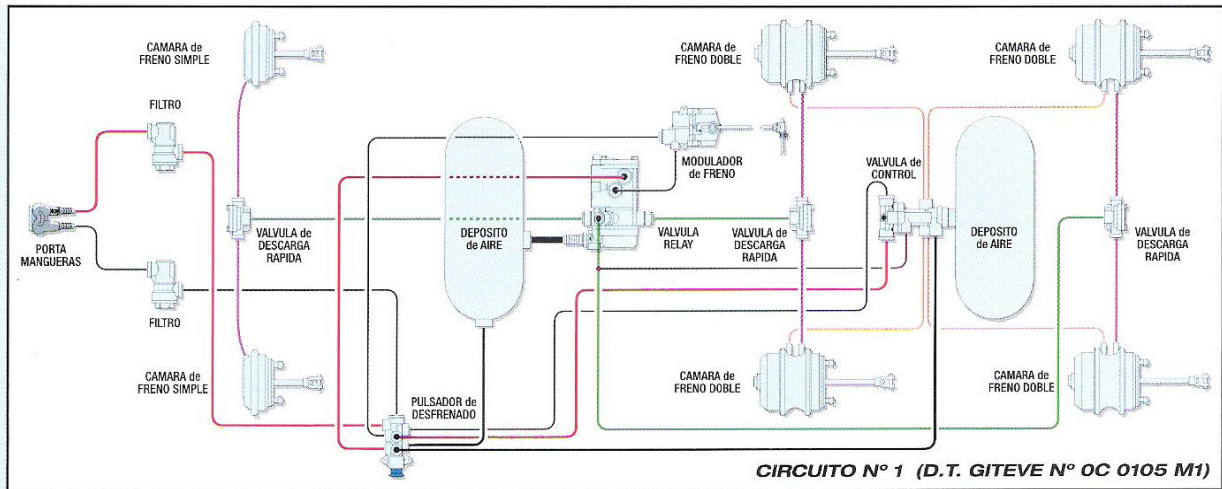


Figura 1 - Esquema circuito de freno correspondiente a vehículo semirremolque.

3. TIEMPO DE RESPUESTA

En la figura 2 vemos la respuesta típica de la presión en función del tiempo de un sistema de frenos en una combinación unidad tractora de dos ejes con un semirremolque de un eje. Se puede apreciar el retardo entre los ejes de la unidad tractora y el eje de la unidad remolcada, el cual estará sensiblemente influenciado por la longitud de la unidad remolcada y la configuración del sistema de frenos. En la bibliografía consultada, Limpert R. establece que el tiempo de respuesta puede estar compuesto de tres partes (figura 3). La primera parte del tiempo de retardo proviene de la velocidad con que la onda de freno se desplaza en una longitud determinada, este retardo de tiempo indica cuánto tiempo le llevará a la señal de presión recorrer la distancia desde la válvula de aplicación de freno hasta la válvula de relé. La segunda parte del tiempo de respuesta está dada por el movimiento del pistón de la cámara de freno requerido para eliminar el juego entre la cinta de frenos y la campana de freno, este tiempo es proporcional al volumen desplazado de la cámara de freno, para mover la zapata contra la campana. El tercer tiempo de retardo es el tiempo requerido para que la línea de presión alcance un máximo especificado, generalmente un 90 % de la presión del tanque de aire. Este tiempo es proporcional al volumen total y a la resistencia a la circulación del aire del sistema de freno.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

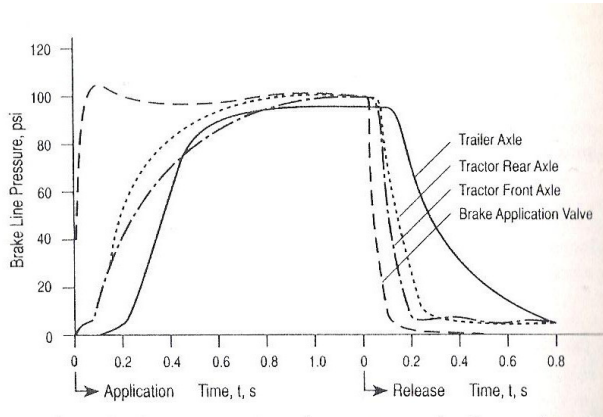


Figura 2 - Tiempo de respuesta para una combinación tractor-semirremolque.

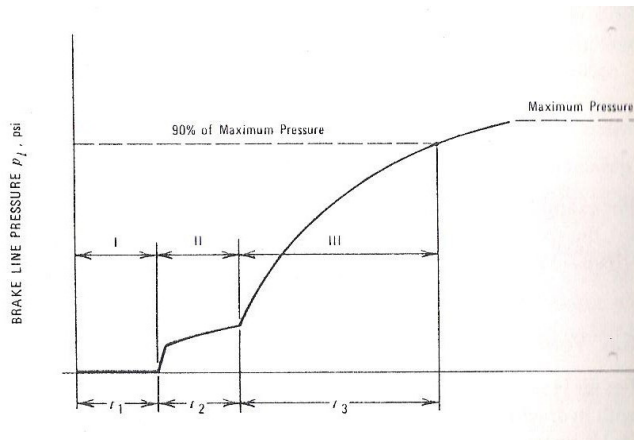


Figura 3 - Esquema de la curva de tiempo respuesta.

Para simplificar el análisis, se puede considerar al circuito de la siguiente manera (figura 4).

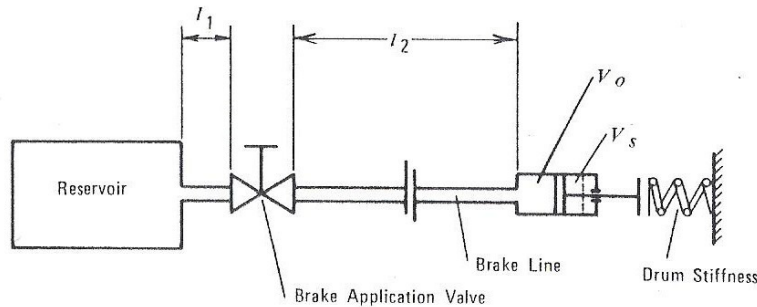


Figura 4 - Esquema simplificado del circuito de frenos.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

El tiempo t_1 requerido para que la onda de presión recorra la distancia entre la válvula de aplicación y la cámara de frenos, se obtiene con la siguiente expresión:

$$t_1 = \frac{l_2}{c} \quad (1)$$

donde:

l_2 = longitud de la línea de freno entre la válvula de aplicación y la cámara de freno [m]

c = velocidad del sonido en aire [m/s]

La velocidad del sonido es una función de la densidad del aire. Para condiciones atmosféricas: $c = 333$ [m/s]. El tiempo es levemente afectado por curvas y accesorios típicos que habitualmente se encuentran en un sistema de frenos. El tiempo requerido por la onda de presión para viajar entre la válvula de aplicación y la cámaras de freno ubicadas más lejanas es aproximadamente 0.02 a 0.05 [s] para una combinación de tractor con acoplado.

El tiempo de retardo t_2 requerido por la línea de presión de un sistema de freno típico, en buenas condiciones mecánicas, para superar el huelgo de la cámara de pistón y el resorte de retorno de la zapata, es determinado por el volumen V_0 a ser llenado antes que ocurra cualquier movimiento del pistón de freno, el volumen a ser llenado para superar el huelgo de la cámara de pistón, y la longitud de la línea de freno l_1 entre el reservorio y la válvula de aplicación, así como la longitud de la línea 2 entre la válvula de aplicación y la cámara de pistón. Una expresión aproximada determinada experimentalmente para una línea de frenos de aire típica es:

$$t_2 = 35,3.(V_0 + V_s).(0,023.l_1 + 0,082.l_2) \quad (2)$$

donde:

l_1 = longitud de la línea de freno entre el reservorio y la válvula de aplicación [m]

l_2 = longitud de la línea de freno entre la válvula de aplicación y la cámara de freno [m]

V_0 = Volumen cámara de freno a ser llenado antes de cualquier desplazamiento del pistón [m³]

V_s = Volumen cámara de freno a ser llenado para eliminar los huelgos [m³]

El tiempo de retardo t_3 , corresponde al tiempo requerido la presión en el actuador de frenos alcance el 90% de la máxima presión del reservorio. Se determina como el volumen total entre la



válvula de aplicación y la cámara de frenos incluyendo la línea de frenos. Se calcula mediante la siguiente expresión empírica:

$$t_3 = 4,87 \cdot (l_1 + l_2) \cdot (V_s + V_0 + V_2) \quad [s] \quad (3)$$

donde:

V_2 = Volumen de la línea que conecta la válvula de aplicación de freno y la cámara de frenos [m³]

El tiempo total de retardo es incrementado por los tiempos de retardo de la válvula de aplicación de freno asociada con cada una de las tres fases de presión. El tiempo de retardo de la válvula puede ser determinado experimentalmente para una particular aplicación de la válvula de freno instalada en ese sistema.

El tiempo total de retardo es:

$$t_{total} = (t_1 + t_2 + t_3 + t_v) \quad [s] \quad (4)$$

donde:

t_v = tiempo de retardo de la válvula de aplicación de freno [s]

4. ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo el estudio experimental se instrumentó un circuito de frenos de un semirremolque de tres ejes (figura 5). El circuito se conectó a un simulador para enviar la señal de frenos al actuador de frenos más alejado (figura 7). Para registrar el tiempo de respuesta se utilizó un osciloscopio, y transductores de presión (figura 6 y 8).

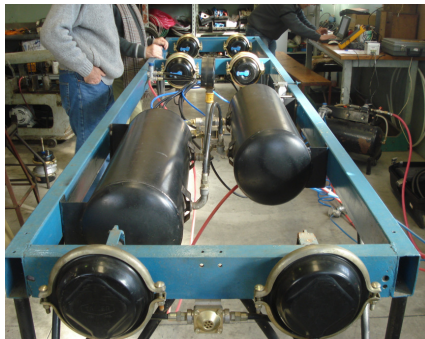


Figura 5 - Circuito de frenos ensayado.



Figura 6 - Osciloscopio y computadora.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Figura 7 - Simulador de unidad tractora.



Figura 8 - Transductor de presión en actuador de frenos.

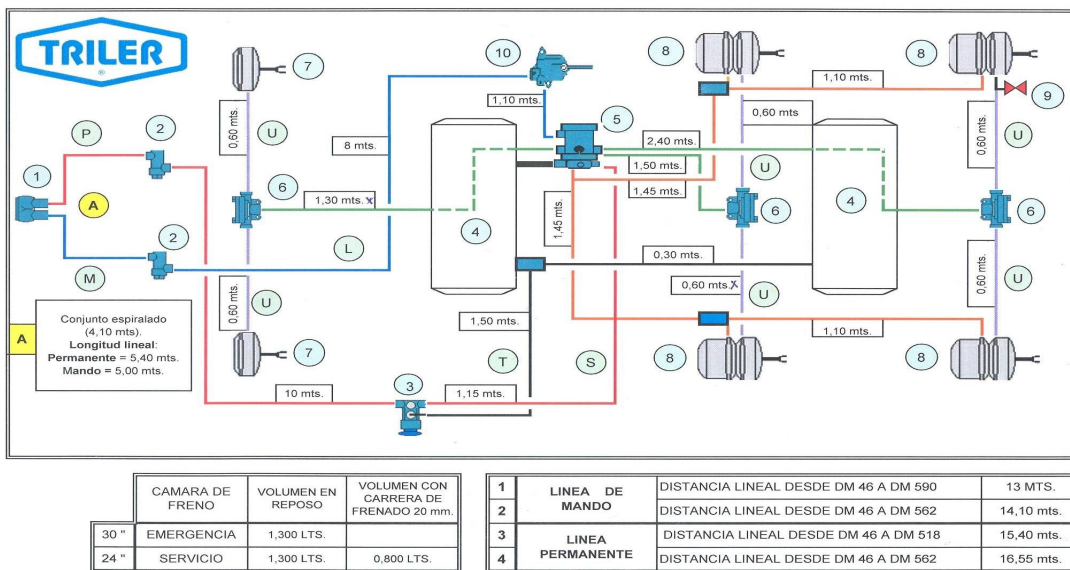


Figura 9- Circuito de frenos ensayado.

Cálculo del tiempo de respuesta según el método propuesto por Rudolf Limpert:

Tabla 1. Valores utilizados en el cálculo del tiempo de respuesta.

longitud de la línea de freno entre el reservorio y la válvula de aplicación $[l_1]$ [m]	2,5
longitud de la línea de freno entre la válvula de aplicación y la cámara de freno $[l_2]$ [m]	17,1
Volumen cámara de freno a ser llenado antes de cualquier desplazamiento del pistón $[V_0]$ $[m^3]$	0.0013
Volumen cámara de freno a ser llenado para eliminar los huelgos $[V_s]$ $[m^3]$	0.0008
Volumen de la línea que conecta la válvula de aplicación de freno y la cámara de frenos $[V_2]$ $[m^3]$	0.000985



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

$$t_1 = \frac{l_2}{c} = \frac{17,1m}{333m/s} = 0,0513s$$

$$t_2 = 35,3.(V_0 + V_s).(0,023.l_1 + 0,082.l_2) = 35,3.(0,0013m^3 + 0,0008m^3).(0,023.2,5m + 0,082.17,1m) = 0,104s$$

$$t_3 = 4,87.(l_1 + l_2).(V_s + V_0 + V_2) = 4,87.(2,5m + 17,1m).(0,0008m^3 + 0,0013m^3 + 0,000985m^3) = 0,29s$$

Al tiempo total de respuesta del sistema de frenos hay que añadirle el tiempo de aplicación de la válvula de frenos. En caso de nuestro sistema el mismo es igual a:

$$t_v = 0,2s$$

El tiempo total de respuesta quedará entonces:

$$t_{\text{respuesta}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_v = (0,0513 + 0,104 + 0,29 + 0,2)s = 0,65 s$$

A continuación se presentan los valores obtenidos experimentalmente, en la figura 10 podemos observar el tiempo t_1 medido, correspondiente a la primera fase del tiempo de respuesta.

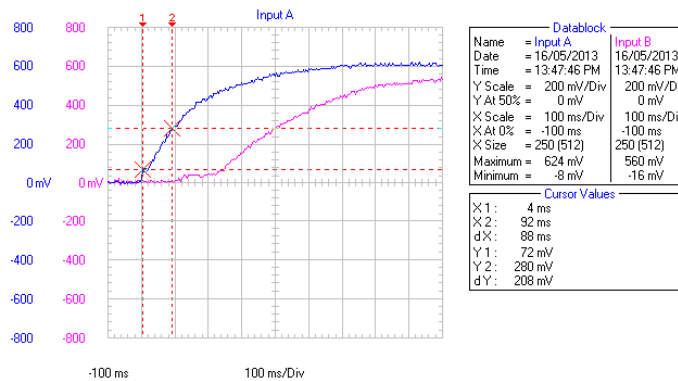


Figura 10 – Tiempo t_1 correspondiente a la fase 1 medido.

En las figuras 11, 12 y 13 podemos observar los tiempos de respuesta correspondientes a la fase 2, 3 y el tiempo total de respuesta medido.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

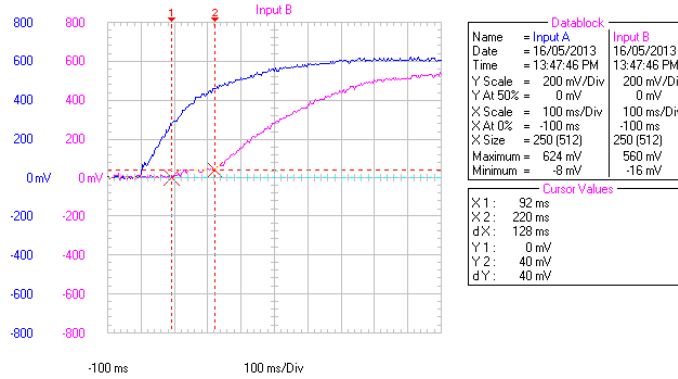


Figura 11 – Tiempo t_2 correspondiente a la fase 2 medido.

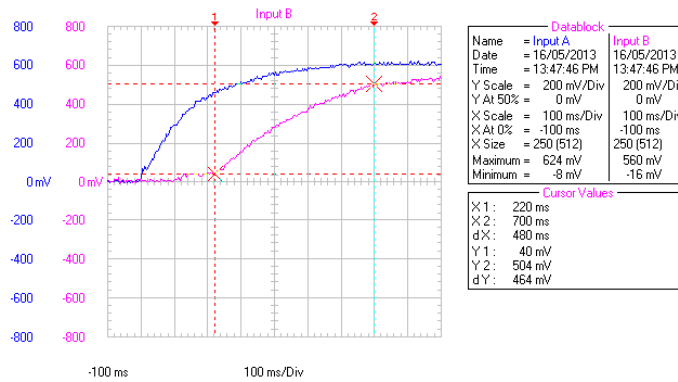


Figura 12 – Tiempo t_3 correspondiente a la fase 3 medido.

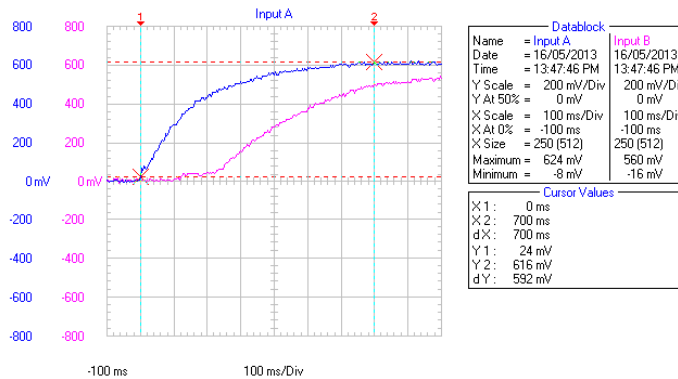


Figura 13 – Tiempo de respuesta total medido.

Comparando los resultados obtenidos tenemos:



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

Tabla 2. Resultados de los tiempos de respuesta calculados y medidos.

	Método Limpert	Experimental	Error porcentual [%]
Tiempo t_1 [s]	0,0513	0,088	- 41,7
Tiempo t_2 [s]	0,104	0,128	- 18,75
Tiempo t_3 [s]	0,290	0,480	- 39,58
Tiempo total [s]	0,650	0,696	- 6,61

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

El método propuesto por Limpert para determinar el tiempo de respuesta arroja una diferencia porcentual en defecto de 6,61 % respecto al tiempo medido experimentalmente. El método resulta con un error aceptable, para poder estimar a priori la respuesta de un sistema de frenos dado. Por lo expresado en este trabajo, las variables fundamentales en la estimación del tiempo respuesta son las secciones y longitudes de las cañerías de frenos, el volumen de las cámaras de frenos, y el ajuste de las cintas de frenos.

6. CONCLUSIONES

Es fundamental que el tiempo de respuesta de frenos sea lo más bajo posible, para ello es importante tener en cuenta la ubicación de los tanques de aire, con la válvula relay, es decir que se localicen lo más próximo a los ejes, para acortar los largos de cañerías al máximo. El diseño de las válvulas relay y de descarga rápida, junto a los conectores (codos, reducciones), son factores importantes en el tiempo de respuesta. Respecto a las válvulas deben provocar la menor resistencia posible al flujo de aire, y deben evitarse, cuando sea posible los codos y reducciones.

6. REFERENCIAS

- [1] Limpert R. BRAKE DESIGN AND SAFETY. Society of Automotive Engineers, Inc. 400 Commonwealth Drive. Warrendale, PA 15096-0001. ISBN 1-56091-261-8, 1992.
- [2] Arias R., Cazzola G., García J. Estudio teórico - experimental del comportamiento de sistemas de frenos de vehículos remolcados de gran porte. Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Buenos Aires 24 y 25 de Agosto. 2006
- [3] Li He, Wang X, Wu. J, Zhang. Y, Chen. L. Modeling and Simulation Vehicle Air Brake System. Proceedings 8th Modelica Conference Dresden Germany, 2011.
- [4] Albatlan S. A. A. Air Brake Proportional to Load. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol.2, Issue.4, July-Aug 2012 pp-1898-1902. ISSN: 2249-6645