

**Método de Searle**  
**Parte I**  
**Reconstrucción de Accidentes de Tránsito**  
**Aplicación al atropellamiento de peatones**

<b>Índice</b>	<b>pag.</b>
<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Descripción del método de Searle</b>	<b>2</b>
<b>La velocidad mínima inicial <math>V_{0\ min}</math></b>	<b>4</b>
<b>La velocidad inicial máxima <math>V_{0\ max}</math></b>	<b>4</b>
<b>Limites de la velocidad</b>	<b>5</b>
<b>El factor de impacto <math>EP</math></b>	<b>8</b>
<b>El coeficiente de fricción <math>\mu</math></b>	<b>9</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>10</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>11</b>

## **Resumen**

Este trabajo presenta el Método de Searle el cual se aplica al estudio de una partícula moviéndose en un plano vertical de la cual se conoce una trayectoria dada y no los valores ni dirección de la velocidad original.

Se describe el método y se indican las ecuaciones del movimiento y la ecuación diferencial que rige el fenómeno.

Mediante la integración de ésta se obtiene una expresión para la velocidad mínima necesaria para que la partícula sea proyectada a una determinada distancia.

Se indica una expresión para la velocidad máxima.

Se estudia el tipo de curva resultante y se indican los límites de la velocidad, el valor teórico de ésta varía entre estos límites según el caso.

El método descrito puede aplicarse a un tipo específico de embestimiento de peatones, considerando el movimiento del baricentro del peatón en un plano vertical, para este tipo de choque se define el factor de impacto el cual corrige la velocidad de proyección teórica para obtener la velocidad de colisión del vehículo, este factor se introduce teniendo en consideración trabajos prácticos anteriores.

Para poder usar prácticamente el método se indican los valores del coeficiente de rozamiento entre el peatón y el suelo sobre la base de estudios realizados.

## **Descripción del Método de Searle**

En 1983 John A. Searle presenta en un papel de la SAE el problema de determinar la velocidad inicial de una partícula a partir de una trayectoria dada [1]. En dicho trabajo se deduce una ecuación para la velocidad mediante la cual se puede acotar los límites de ésta a pesar de que se desconozca el ángulo de proyección inicial.

Este ángulo es el que forma la velocidad del proyectil con la horizontal.

Esta ecuación se puede aplicar a varias situaciones frecuentes en la reconstrucción de accidentes viales.

Puede tratarse el caso de un objeto desprendido en el momento del choque el cual vuela una determinada distancia y luego rebota varias veces en el pavimento hasta que finalmente desliza y queda en estado de reposo.

Se puede tratar el caso de un vehículo que pierde el control y sale despedido por el aire y luego golpea sucesivamente contra el pavimento hasta que se detiene.

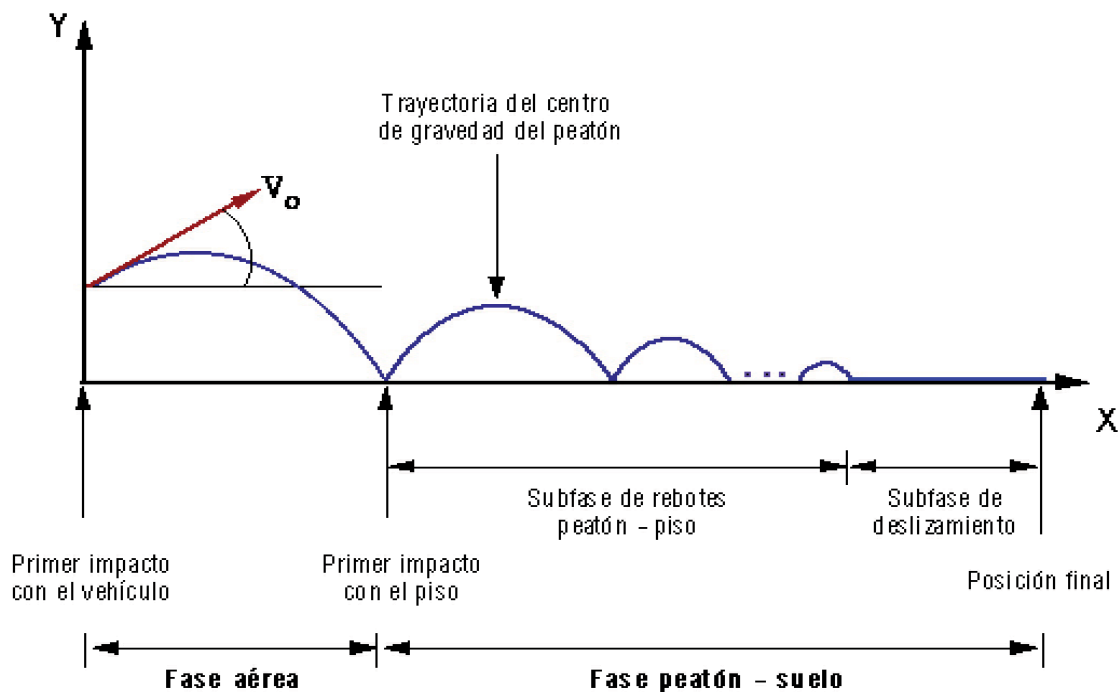
La aplicación de este método al caso de un peatón que es embestido por un vehículo y proyectado hacia el frente del vehículo al mismo tiempo que éste frena es otro caso particular de aplicación de esta ecuación, este caso que denominaremos método de Searle es el que se expone a continuación.

El método descrito por Searle se deriva de la ecuación de la velocidad deducida para una partícula aplicada al centro de gravedad  $G$  del peatón el cual se mueve en un plano vertical.

En este modelo se tienen en cuenta los golpes y rebotes que sufre la partícula contra el suelo y por esto se lo denomina “caída, rebote y deslizamiento”.

Con anterioridad los autores habían considerado solo la fase aérea del movimiento de una partícula hasta el primer rebote, hay veces que se conoce la distancia del primer impacto contra el suelo por cierta evidencia física como marcas, etc. Pero por lo general la distancia que puede obtener el investigador de la escena del choque es la distancia de reposo final del objeto luego de sucesivos rebotes y deslizamientos. Esta distinción de las distancias no es

menor ya que la distancia de la fase de rebote y deslizamiento puede ser mayor que la de la fase aérea inicial. El estudio de Searle considera toda la trayectoria del objeto hasta el reposo final, logrando acotar la velocidad inicial independientemente del ángulo con que fue lanzado, teniendo en cuenta la distancia de proyección y el coeficiente de rozamiento de la interfase objeto – suelo. Aplicado al atropello de un peatón el método describe un primer impacto del vehículo con el peatón quien sufre una aceleración durante un lapso de tiempo  $\Delta t$  y es proyectado en el aire con una velocidad inicial  $V_0$ , la que forma un ángulo  $\theta$  con la horizontal.



**Esquema de la trayectoria del centro de gravedad G del peatón en el modelo de Searle denominado “caída, rebote y deslizamiento”**

El movimiento del peatón luego del impacto se determina a partir del movimiento de su centro de gravedad G, el que describe primero una fase aérea con una trayectoria parabólica, hasta que se produce el primer impacto contra el suelo y el primer rebote.

A continuación se producen sucesivos rebotes que llevan la componente de velocidad vertical del centro de gravedad G del peatón a cero (subfase rebotes) y donde el cuerpo embestido termina deslizando y rozando contra el piso hasta su posición de reposo final (subfase de deslizamiento), donde la componente horizontal de la velocidad de G se anula.

A esta segunda fase se la denomina fase peatón – suelo, y es donde ocurren un número no determinado de rebotes y posteriormente el deslizamiento del cuerpo hasta la posición final de reposo.

### La velocidad mínima inicial $V_{0\ min}$

El método de Searle propone una relación entre la velocidad de proyección del peatón  $V_0$ , el ángulo de proyección  $\theta$  con la horizontal, la distancia de total de proyección  $S$ , la altura  $H$  del centro de gravedad del peatón y el coeficiente de rozamiento  $\mu$  de éste con el suelo.

$$v_0 = \frac{\sqrt{2 \cdot \mu \cdot g (S - \mu \cdot H)}}{(\cos \vartheta + \mu \cdot \text{sen} \vartheta)} \quad (1)$$

La deducción de esta ecuación del movimiento se encuentra en el Anexo I.

El método permite determinar un rango de velocidades mínima y máxima para una cierta distancia de proyección.

La velocidad mínima se halla como  $V_{0\ min}$  calculada como el mínimo matemático de la función (1).

La expresión de  $V_{min}$  se determina en el Anexo Parte I y es:

$$v_{0\ min} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (S - \mu \cdot H)}{1 + \mu^2}} \quad (2)$$

Observamos que esta expresión nos indica la mínima velocidad que es necesaria conferir al peatón para que alcance una distancia de proyección  $S$ ,  $V_{0\ min}$  es independiente del ángulo de proyección  $\theta$ .

## La velocidad inicial máxima $V_{0\max}$

En el intervalo  $0 \leq \theta \leq \pi/2$  se observa el máximo para  $\theta = 0$ , donde  $V_{0\max}$  esta dado por:

$$v_{0\max} = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g (S - \mu \cdot H)} \quad (3)$$

Searle indica que esta velocidad máxima se puede calcular si el ángulo  $\theta$  es menor a un ángulo crítico  $\theta_{crit}$  que depende de  $\mu$  del siguiente modo:

$$\theta_{crit} = \pi / 2 - 2 \cdot \arctg(1 / \mu) \quad (4)$$

Esta relación está dada en la tabla siguiente para los diferentes valores de  $\mu$ :

Coef. $\mu$	ang. $\theta_{crit}$
0.3	33°
0.4	44°
0.5	53°
0.6	62°
0.7	70°
0.8	77°
0.9	84°

El ángulo  $\theta$  inicial es desconocido pero se puede asumir que es menor al ángulo crítico en la mayoría de los casos. Supongamos que  $\mu$  vale 0.6, si el ángulo de proyección es menor a 62° entonces la velocidad máxima esta dada por la expresión (3), si es mayor no se puede fijar un máximo para ésta.

En la mayoría de las situaciones los valores de  $\theta$  son pequeños y mucho menores al  $\theta_{crit}$  es por esta razón que en la mayoría de los casos se puede fijar el limite máximo de la velocidad.

## Límites de la velocidad

Para simplificar supongamos que  $H=0$ , entonces la velocidad está dada por la expresión:

$$v_{0\min} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot S}{1 + \mu^2}} \quad (5)$$

Esta es una ecuación del tipo:

$$v_{0\min}^2 = \frac{2 \cdot \mu \cdot g}{1 + \mu^2} \cdot S \quad (6)$$

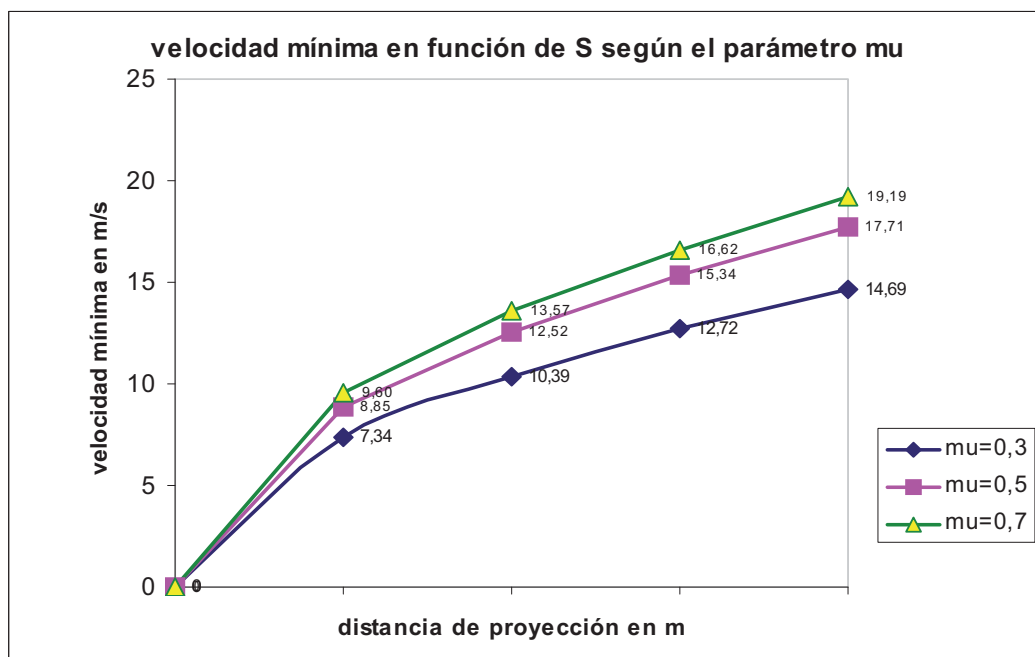
Esta ecuación es de la forma

$$y^2 = p \cdot x$$

Es la ecuación de una familia de parábolas de eje principal ox que pasan por el origen y cuyo parámetro es

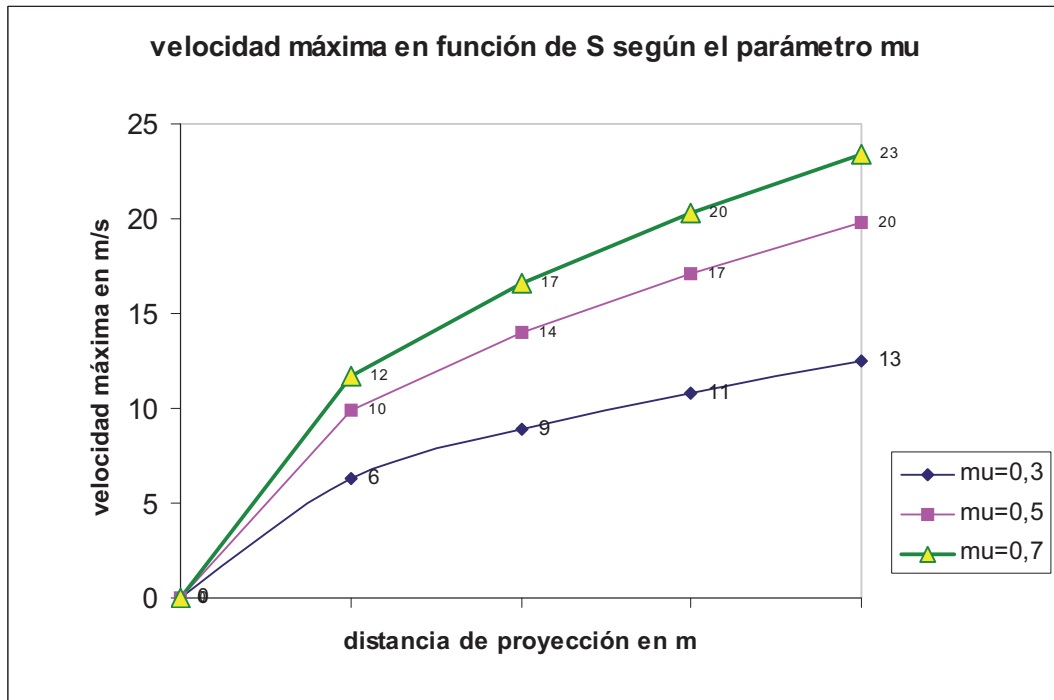
$$p = \frac{2 \cdot \mu \cdot g}{1 + \mu^2}$$

La gráfica de la velocidad mínima en función de la distancia de proyección es la siguiente:



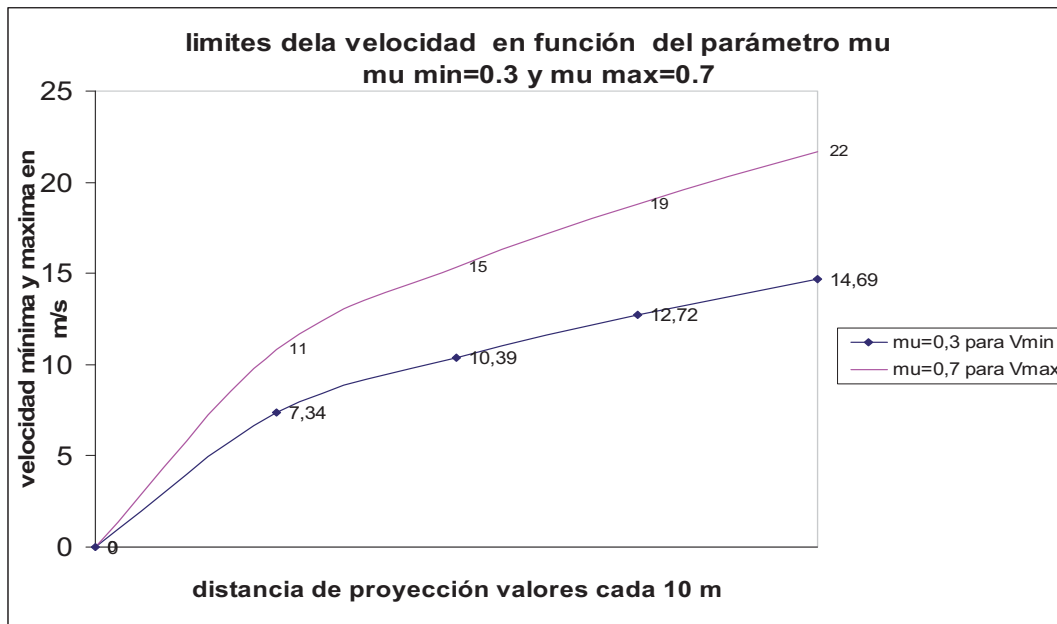
Para determinar la velocidad mínima debemos emplear el mínimo valor de  $\mu$  razonablemente admisible según el caso estudiado. En el anexo II se realiza un estudio de cómo varía el parámetro  $p$  con  $\mu$ , ahí se puede ver que  $p$  tiene un valor mínimo en  $\mu=0$  y un máximo en  $\mu=1$ , que la función  $p$  es creciente en este intervalo y por esta razón el mínimo se halla en el menor valor de  $\mu$  posible. En forma análoga se puede demostrar que la velocidad máxima según

la expresión (3) se logra para el máximo valor de  $\mu$  posible según el caso considerado.



De esta forma combinando ambas gráficas para los valores máximo y mínimo de  $\mu$  supuestos obtenemos los límites de la velocidad entre los cuales se encuentra la velocidad de proyección buscada según el caso.

Supongamos  $\mu=0,3$  para la velocidad mínima y  $\mu=0,7$  para la velocidad máxima entonces la gráfica de los límites de la velocidad son:



La velocidad  $V_0$  de impacto está acotada por estos dos límites superior e inferior para la distancia de proyección  $S$  determinada del caso estudiado.

### **El factor de impacto $EP$**

El método de Searle se puede usar para el caso particular de un embestimiento con una trayectoria de proyección denominada “wrap” en inglés, este tipo de trayectoria se produce cuando un vehículo, realizando una maniobra evasiva de frenada previa al impacto, impacta con su frontal sobre el peatón, haciendo que la zona superior del peatón: torso-cabeza, se doble sobre el vehículo contactando y deslizando sobre el capo, de esta forma se observa que una porción significativa del cuerpo del peatón “envuelve” el capo y de ahí su nombre (el verbo wrap en inglés significa envolver)

La velocidad de colisión del vehículo con el peatón es  $V_v$  y distinta de la  $v_0$  del peatón que calcula el modelo de Searle.

Esta velocidad de colisión esta dada por la relación:

$$V_v = \frac{1}{EP} \cdot v_0 \quad (6)$$

Donde  $EP$  se define como el “factor de impacto” o la “eficacia de proyección”, este factor dado por Searle se usa empíricamente y se introduce para compatibilizar los resultados teóricos de la fórmula con las observaciones prácticas; el factor deriva de las curvas de velocidad vs distancia de proyección que aparecen en los estudios previos de Appel.

Searle observa que la velocidad de proyección del peatón es menor que la de impacto del vehículo, muchas veces se da el caso de que el vehículo pasa por encima del peatón luego de embestirlo.

Esto es razonable dado que en la realidad parte de la energía del choque se consume en deformaciones plásticas y elásticas de los dos cuerpos intervinientes en la colisión, las cuales no se consideran en el estudio.

De las observaciones experimentales en las cuales se verifica la hipótesis anterior Searle indica el  $EP$  para dos tipos de vehículos:



- a) Un vehículo con un frontal bajo como es el caso de un automóvil
- b) otro de frontal alto como puede ser el caso de una camioneta tipo van, camiones y ómnibus.

A la vez indica este factor de acuerdo a la talla del peatón, si se trata de un adulto o un niño, y brinda la siguiente tabla:

<b>Adultos</b>	<b>EP (%)</b>	<b><math>V_v</math></b>
Vehículo con frontal bajo	64.0	$V_v=1.5625 V_0$
Vehículo con frontal alto	74.4	$V_v=1.1344 V_0$
<b>Niños</b>		
Vehículo con frontal bajo	72.7	$V_v=1.1376 V_0$
Vehículo con frontal alto	83.1	$V_v=1.2034 V_0$

### **El coeficiente de fricción $\mu$**

El coeficiente de fricción  $\mu$  que debe usarse en el método de atropellamiento para peatones es el que existía en el momento de ocurrir el accidente entre el peatón proyectado y la superficie del pavimento en la cual este rebota y desliza.

Como es difícil que se tenga este dato del lugar del accidente Searle indica los siguientes coeficientes de rozamiento para peatones obtenidos experimentalmente:

#### **Peatón con ropas normales**

		<b><math>\mu</math></b>
<b>Superficie:</b>	asfalto seco o mojado	0.66
	pasto seco o mojado	0.79

En ambos casos según el autor no se encontró diferencia sustancial en el coeficiente de fricción  $\mu$  entre una superficie seca y otra mojada.

## Conclusiones

El método se aplica a atropellamientos de peatones con trayectoria del tipo Wrap, en la cual el peatón es proyectado hacia adelante del vehículo, para este tipo de casos se pueden determinar los límites de la velocidad de impacto de acuerdo a la distancia de proyección  $S$ ; a partir de la ecuación teórica planteada en el estudio se ajustan los resultados por el factor de impacto, que como puede observarse es una sencilla aproximación al complejo problema del choque de un vehículo con un peatón.

Los datos necesarios para realizar el cálculo son además de  $S$  la estimación del coeficiente de fricción y la altura  $H$  del centro de gravedad del peatón, la cual se puede asumir  $H=0$  para simplificar los cálculos.

La velocidad así determinada no depende del ángulo de proyección  $\theta$  el cual es indeterminado a los efectos del cálculo, tampoco depende de la cantidad de rebotes contra el pavimento, solo depende de  $S$ , distancia que usualmente se puede obtener en el lugar del accidente.

El método indica los valores de  $\mu$  práctico que se deben usar para el caso de embestimiento de peatones, realizando una primera aproximación a la fase de rebote y de deslizamiento. A diferencia de estudios anteriores Searle estudia y agrega esta fase en su fórmula haciendo énfasis en su importancia en todo el proceso del choque. Este método puede considerarse una aproximación al embestimiento de peatones, posteriormente ha habido un desarrollo constante de métodos cada vez más complejos por parte de los investigadores de accidentes viales, con simulaciones cada vez más sofisticadas del cuerpo humano y estudios detallados del contacto peatón –auto, además de mucho trabajo práctico con muñecos de prueba, etc.

Cuando se carece de estos recursos, o cuando no se tienen detalles y datos precisos del accidente, el método permite por su simplicidad tener una relativamente buena aproximación a la realidad; es por esta razón que debe valorarse y considerarse como un recurso más que tiene el investigador de accidentes viales para obtener una estimación de la velocidad real del vehículo que interviene en la colisión.

Este trabajo titulado “*Método de Searle Parte I*” ha sido realizado por el Ingeniero Daniel François a los 10 días del mes de enero de 2007 en Montevideo, República Oriental del Uruguay.

## **Bibliografía**

- [1].- SAE Paper No. 831622  
The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclists, etc,  
Following a Road Accident.  
John A. Searle  
Angela Searle
  
- [2].- Comparison of several methods for real pedestrian accident  
reconstruction.  
Jean-Philippe Depriester  
Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale -  
IRCGN  
Christophe Perrin  
Thierry Serre  
Sophie Chlondon  
Institut National de Recherche sur le Transports et leur  
Sécurité - INRETS
  
- [3].- Vehicle Speed Throw Distance – Searle and Appel  
Professional Development Certificate in Forensic Road  
Accident Investigation.  
An extract from the distance learning course notes.
  
- [4].- Accidentes de tráfico  
Manual básico de investigación y reconstrucción  
J.J. Alba López  
J. Monclus González  
A. Iglesia Pulla