

# **Análisis del impacto de dos flujos slug en una confluencia horizontal.**

**Diego Andrés Martínez**

Instituto Politécnico Nacional, SEPI-ESIME U. Zacatenco, México D. F., México, anddamn@yahoo.com.mx

**Florencio Sánchez Silva**

Instituto Politécnico Nacional, SEPI-ESIME U. Zacatenco, México D. F., México, fsnchz@yahoo.com.mx

**Ignacio Carvajal Mariscal**

Instituto Politécnico Nacional, SEPI-ESIME U. Zacatenco, México D. F., México, icarvajalm@yahoo.com

**Mario Ramírez de Santiago**

Instituto Mexicano del Petroleo, México, D.F., México, mrameirez@ipn.mx

## **ABSTRACT**

The results about the collision of two slug flows in a horizontal confluence are presented in this paper. An experimental set up was built in which it is possible to change the incidence angle and the mass flow in both branches. Capacitance probes, pressure transducers and a high speed video camera were used to determine the main parameters of slug flow before and after the impact; hold up, length, frequency and velocity of the slug in different flow conditions. The high speed video camera was used to analyze the flow impact in all the different conditions tested. The experimental results show that there is an important influence of the incidence angle and the characteristics of the colliding slugs in the stable operation system.

**Keywords:** Visualization, slug flow, collision, confluence, hold up.

## **RESUMEN**

Se presentan los resultados de un estudio experimental sobre la colisión de dos flujos slug en una confluencia de tuberías horizontales. Se diseñó y construyó una instalación donde se pueden cambiar; el ángulo de incidencia de las tuberías y los flujos másicos de las dos fases en ambos ramales. Se utilizaron sondas capacitivas, transductores de presión y una cámara de video rápida para determinar las principales características del flujo slug antes y después del impacto como son: la fracción volumétrica, la longitud, frecuencia y la velocidad del slug a diferentes condiciones de flujo volumétrico. También se tomó video de alta velocidad para analizar el comportamiento del sistema en las diferentes condiciones probadas. Los resultados muestran que hay una importante influencia del ángulo de incidencia en la estabilidad del sistema así como de las condiciones de los flujos incidentes en la operación estable del sistema.

**Palabras claves:** visualización, flujo slug, colisión, confluencia, fracción volumétrica.

## **1. INTRODUCCION**

Un gran número de industrias requieren transportar fluidos en sus procesos, en muchos casos la composición de los fluidos que manejan se encuentran en forma de mezclas de dos o más fases. En años recientes se ha tenido la

necesidad de desarrollar investigación intensa sobre el comportamiento de estas mezclas cuando son conducidas por medio de tuberías, debido a que en muchas ocasiones es más económico transportar la mezcla en dos fases que en forma separada, para reducir el impacto ambiental y la cantidad de tubería necesaria. Por ejemplo, en la industria petrolera, tiene ventajas transportar el crudo, desde el pozo, sin separarlo ya que la cantidad de gas presente en el crudo tiene como efecto interesante, disminuir la viscosidad y densidad del mismo, facilitando su transporte, a condición, claro está, de que se conozca a cabalidad su comportamiento dentro de las tuberías, Shoham (2001).

Sin embargo, la proporción en que se encuentran las fases en las tuberías forma diferentes configuraciones denominadas patrones de flujo. El patrón de flujo que induce más problemas es el intermitente (slug) ya que es un flujo alternado de una enorme burbuja de gas, conocida como burbuja de Taylor y un tapón de líquido (slug) que se mueve a alta velocidad, con pequeñas burbujas distribuidas en su cuerpo, esta alternancia produce vibraciones que complican los procesos de transporte, Sánchez Silva et al. (1998). Aunque a través de los años se han estudiado estos fenómenos, que se presentan con frecuencia en la industria, siempre se ha buscado la forma de eliminarlos o controlarlos, lo cual resuelve el problema temporalmente, pero no se resuelve el problema de raíz.

Por otro lado, debido a la distribución de los pozos en el campo, si se tuviera que conducir la producción de cada pozo por medio de una tubería individual hasta los separadores, se requeriría una gran inversión inicial en acero, pero el punto más importante es que esta solución provoca un gran impacto sobre el medio ambiente, por lo tanto se propone utilizar cabezales colectores de la producción de diversos pozos para reducir el impacto ambiental y la inversión inicial. Para esto, se requiere estudiar los fenómenos que provoca esta solución y principalmente, el comportamiento de los flujos en los puntos de confluencia del cabezal que conduce la producción colectada de varios pozos con la línea que trae la producción de un pozo que se integra al cabezal. Por esa razón, en este trabajo nos referiremos fundamentalmente a la interacción de dos flujos slug provenientes de dos líneas cuando convergen en una confluencia horizontal.

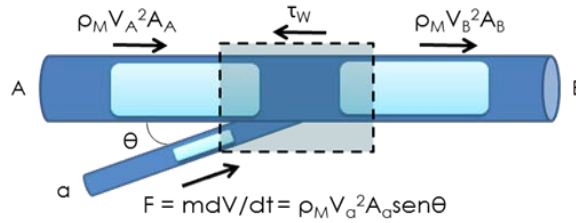
## 2. FENOMENO FÍSICO

Hasta ahora la mayoría de los investigadores han usado la velocidad superficial de las fases, como parámetros de mapeo para determinar las condiciones a las que ocurren los patrones de flujo. Otros autores han usado flujos máscicos para definir la transición del patrón de flujo y algunos pocos han empleado grupos adimensionales, como el número de Froude. Los diagramas de patrones de flujo más aceptados son los propuestos por Baker (1954), Taitel y Dukler (1976) y Mandhane (1974), siendo éste último la referencia para la presente investigación.

Normalmente, en las fronteras que marcan la transición entre los diferentes patrones de flujo, aparecen inestabilidades conforme las condiciones de flujo se aproximan a dichas fronteras, el flujo comienza a ser indefinido anunciando que ocurrirá una transición. Por lo tanto, las fronteras en estos diagramas no son líneas bien definidas, además, los mapas se construyeron bajo condiciones bien definidas según las necesidades de su uso (limitados a ciertos diámetros, longitudes, orientación, presiones, fluidos y flujos), lo que provoca que haya grandes diferencias entre ellos. Por esa razón, se tomará al diagrama de Mandhane (1974) solo como referencia ya que la presencia de la confluencia y el impacto de los flujos, afectará a los patrones de flujo en las tres líneas.

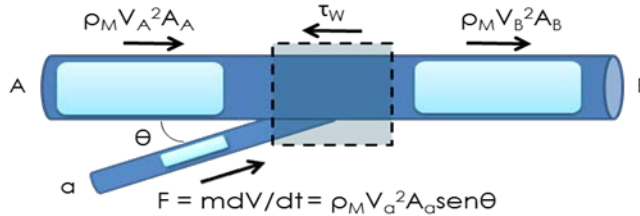
Durante el impacto de dos flujos slug en una confluencia de tuberías horizontales se pueden encontrar varios casos (Fig. 1 y 2). Para analizarlos, el volumen de control debe incluir el ingreso de las dos líneas, el punto de impacto y la salida hacia el colector.

Caso 1. Cuando al ingreso del volumen de control coinciden dos burbujas de Taylor, se da un fenómeno de coalescencia de las dos burbujas puesto que el intercambio de momentum es despreciable. Solo habrá una ligera variación de la presión y el líquido que viene en forma de película y gotas aumentan el nivel en la tubería colectora.



**Fig. 1.- Dos burbujas de Taylor coinciden en el ingreso al volumen de control.**

Caso 2. Cuando ingresan simultáneamente dos slugs al volumen de control, hay un fuerte intercambio de momentum que puede destruir los slugs y hacer que haya un cambio importante en las características del slug, frecuencia, fracción volumétrica y velocidad en el colector. Este caso es el que presenta mayor interés en el estudio ya que puede provocar inestabilidades en el sistema y una mayor pérdida de presión



**Fig. 2.- Dos slugs coinciden en el ingreso al volumen de control.**

Existe un tercer caso, que sería el más deseable, y es cuando se hace coincidir una burbuja de Taylor de la línea principal y con un slug del ramal. En este caso, el slug del ramal solo se incorporaría en la burbuja de Taylor y las inestabilidades por el impacto de los tapones serían más suaves. Desafortunadamente debido al carácter aleatorio del fenómeno no es fácil hacer coincidir de manera permanente una burbuja de Taylor con un slug.

Para establecer las relaciones que caracterizan el proceso de mezclado en el punto de unión, se deben hacer balances de momentum y de masa. El balance de energía se descarta debido a que el sistema se ha considerado adiabático.

Para un flujo bifásico el flujo másico de ambas fases en la línea principal Aes,

$$\dot{m}_{LA} = V_{SLA} \rho_L A_A \quad (1)$$

$$\dot{m}_{GA} = V_{SGA} \rho_G A_A \quad (2)$$

Y el flujo másico de las dos fases en la línea ramala es

$$\dot{m}_{La} = V_{SLa} \rho_L A_a \quad (3)$$

$$\dot{m}_{Ga} = V_{SGa} \rho_G (P_a) A_a \quad (4)$$

Por lo tanto, el flujo másico en la línea colectora B será:

$$\dot{m}_{LB} = \dot{m}_{LA} + \dot{m}_{La} = V_{SLB} \rho_L A_B \quad (5)$$

$$\dot{m}_{GB} = \dot{m}_{GA} + \dot{m}_{Ga} = V_{SGB} \rho_G (P_B) A_B \quad (6)$$

Sustituyendo las ecuaciones (1) y (3) en la ecuación (5) y considerando que ambas líneas tienen el mismo diámetro  $A_A=A_B$ , se obtiene la velocidad superficial del líquido en el colector B:

$$V_{SLB} = V_{SLA} + V_{SLa} \frac{A_a}{A_B} \quad (7)$$

Por otro lado, sustituyendo las ecuaciones (2) y (4) en (6) con  $A_A=A_B$ , se obtiene la velocidad superficial del gas en el colector B:

$$V_{SGB} = V_{SGA} \frac{\rho_{GA}(P_A)}{\rho_{GB}(P_B)} + V_{SGa} \frac{\rho_{Ga}(P_a)}{\rho_{GB}(P_B)} \frac{A_a}{A_B} \quad (8)$$

Por lo tanto, la velocidad de mezcla en la línea colectora B será

$$V_{MB} = V_{SLB} + V_{SGB} \quad (9)$$

Una vez determinadas las velocidades superficiales en las tres zonas, se toman las ecuaciones propuestas por Sánchez Silva et al. (1998), y Gregory, Nicholson y Aziz (1978), con el fin de caracterizar el flujo slug en una tubería horizontal.

Para la frecuencia del slug se tiene la siguiente ecuación:

$$fr_s = 0.0148 \left[ \lambda_L \left( \frac{2.070}{d} + 1.3436 Fr \right) \right]^{1.2879} \quad (10)$$

Donde  $\lambda_L$  es la fracción volumétrica superficial del líquido, que se calcula por medio de la ecuación,  $\lambda_L = \frac{V_{SL}}{V_M}$ ,. El número de Froude de la mezcla se determina usando la expresión:

$$Fr = \frac{V_{SL}}{9.81D} \left[ \frac{27.2859}{V_S} + V_S \right] \quad (11)$$

Otro parámetro importante del slug es su longitud, que normalmente se encuentra en el intervalo  $L_S = [20 \text{ a } 30]d$

Por lo que respecta a la velocidad de slug, se puede usar la siguiente expresión:

$$V_S = 1.3436 V_M \quad (12)$$

Donde  $V_M$  es la velocidad de la mezcla que se determina por medio de la ecuación  $V_M = V_{SL} + V_{SG}$ .

La fracción volumétrica del líquido en el cuerpo del slug se puede determinar usando la siguiente ecuación:

$$H_{LS} = \frac{1}{1 + \left( \frac{V_M}{8.66} \right)^{1.39}} \quad (13)$$

El tiempo de paso de la celda unitaria (tapón de líquido más burbuja de Taylor) es el inverso de la frecuencia:

$$t_U = \frac{1}{fr_s} \quad (14)$$

Estas ecuaciones de los parámetros característicos del flujo slug en una tubería horizontal sin accesorios, se tomarán como referencia para determinar el efecto del impacto de los dos flujos slug en la confluencia.

### 3. ESTUDIO EXPERIMENTAL

Se diseñó y construyó una instalación experimental que consta de dos tuberías que se pueden conectar a un cabezal a dos ángulos de incidencia 10° y 20°. La tubería principal tiene un diámetro interior de 44.8 mm y una longitud de 18m, mientras que la tubería ramales de 19.4 mm de diámetro y una longitud de 6m. Después de la confluencia continua un tubo colector de 44.8 mm de diámetro y una longitud de 20 m.

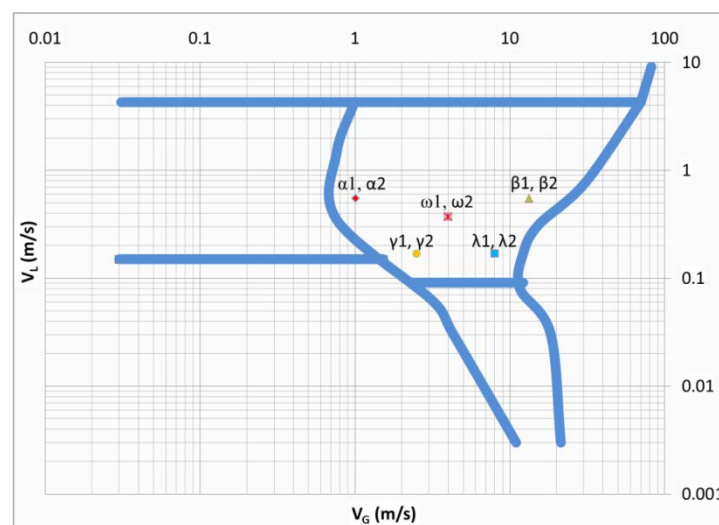
Con esta instalación, se generó flujo slug a diferentes flujos volumétricos con la finalidad de analizar el impacto del slug de la tubería primaria con el del ramal. Con dichas confluencias se pretende observar las diferentes colisiones del slug de la tubería ramal contra el inicio, parte media y final del slug de la tubería principal, y por medio del análisis anterior llegar a interpretar lo que ocurre después de la colisión.

En el punto de confluencia se tomaron diversas fotografías y video rápido para observar los detalles de las colisiones, variando: ángulo de colisión a 10° y 20°, el flujo volumétrico del líquido y del gas en ambas tuberías.

La Tabla 1 muestra la matriz experimental, las letras griegas son las coordenadas de las velocidades superficiales de cada punto que se probó, tanto en el ramal de 19.4 mm ( $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \lambda_2$ ) como en la línea principal 44.8 mm ( $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \lambda_1$ ). Para ubicar los patrones de flujo se tomó como referencia el diagrama de Mandhane (fig. 3).

**Tabla I. Matriz Experimental.**

TESIS			GAS		LÍQUIDO		10°	20°
			A <sub>1</sub> (d <sub>int</sub> =44mm)	A <sub>2</sub> (d <sub>int</sub> =19mm)	A <sub>1</sub> (d <sub>int</sub> =44mm)	A <sub>2</sub> (d <sub>int</sub> =19mm)		
			(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )		
			15.8	3.0	15.8	3.0		
$\alpha$	1.012	0.550	1595.2	299.1	867.0	162.6		
$\beta$	13.306	0.550	20974.6	3933.2	867.0	162.6		
$\gamma$	2.502	0.169	3944.0	739.6	266.7	50.0		
$\lambda$	7.984	0.169	12585.4	2360.0	266.7	50.0		
$\omega$	3.992	0.370	6292.7	1180.0	582.6	109.3		
	(m/s)	(m/s)	(cm <sup>3</sup> /s)	(cm <sup>3</sup> /s)	(cm <sup>3</sup> /s)	(cm <sup>3</sup> /s)		
	V <sub>SG</sub>	V <sub>SL</sub>	Q <sub>1-G</sub>	Q <sub>2-G</sub>	Q <sub>1-L</sub>	Q <sub>2-L</sub>		



**Fig. 3.- Condiciones experimentales de las dos líneas en la zona del flujo Tapón.**

Se midió la presión en el punto de confluencia y a una distancia de 2.0 m, antes y después de la confluencia para la tubería de 44.8 mm, y a 1.0 m antes para la tubería de 19.4 mm. La presión de trabajo a la entrada en la tubería de alimentación fue de 2.5 kg/cm<sup>2</sup>. También se midió la fracción volumétrica del líquido con sondas de anillos antes y después de la confluencia de tuberías. Los datos se adquirieron por medio de un PLC de marca Unitronics y con una tarjeta de adquisición de datos de NI, con la ayuda de la interface visual del software Labview.

La posición de los instrumentos (sondas de anillos S1, S6, S5, S4, transductores de presión P1, P2, P3, P4) y de la cámara de videos a alta velocidad se puede observar en la figura 4. Cabe mencionar que en el punto de confluencia se tenía la presión común al ramal ya la línea principal y se midió con P2.

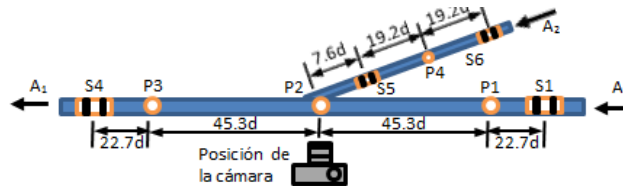


Fig. 4.- Vista superior de la zona de pruebas.

#### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

La tabla II muestra los valores de los parámetros característicos del flujo slug, calculados por medio de los modelos propuestos por los investigadores antes mencionados. Cabe aclarar que dichos valores son para caracterizar el flujo horizontal en una tubería sin confluencias; los parámetros son, velocidad, frecuencia, fracción volumétrica de líquido y longitud del slug. Estos valores se tomarán como referencia para explicar el efecto de la confluencia.

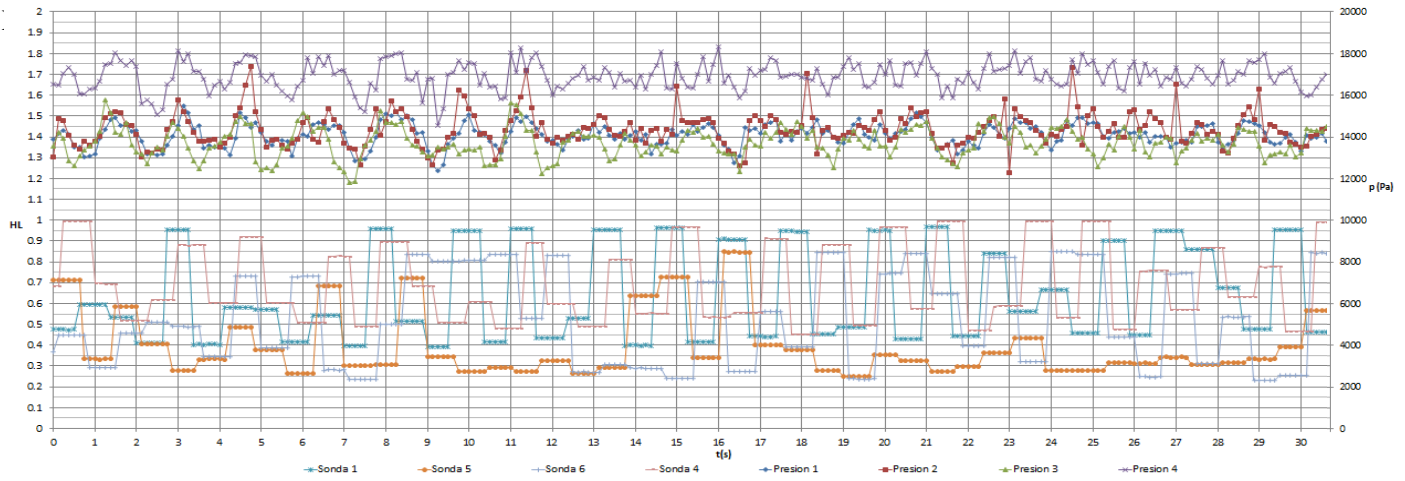
Tabla II. Valores calculados de las características de los slugs para las línea principal A y la línea ramal a, de acuerdo a las condiciones de la experimentación..

	VSL [m/s]	VSG [m/s]	VS [m/s]	frs [Hz]	H <sub>LS</sub>	LS [m]
$\alpha_1$	0.550	1.012	2.098703	0.9448	0.91534519	1.0304
$\beta_1$	0.550	13.306	18.61692	0.0655	0.34224514	1.12
$\gamma_1$	0.1692	2.502	3.589024	0.0687	0.83683976	0.9856
$\lambda_1$	0.1692	7.984	10.95464	0.0168	0.52094346	1.2992
$\omega_1$	0.3696	3.992	5.860246	0.1153	0.72179187	1.2096
$\alpha_2$	0.550	1.012	2.098703	2.7763	0.91534519	0.5044
$\beta_2$	0.550	13.306	18.61692	0.1925	0.34224514	0.4074
$\gamma_2$	0.1692	2.502	3.589024	0.2019	0.83683976	0.4656
$\lambda_2$	0.1692	7.984	10.95464	0.0494	0.52094346	0.388
$\omega_2$	0.3696	3.992	5.860246	0.3387	0.72179187	0.5626

A continuación, se muestran algunos resultados de la confluencia de 10° para dos combinación de slugs ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) y ( $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ), (figura 3) es decir la interacción de slugs lentos y bien definidos, conslugs ligeramente más rápidos y más aireados, la finalidad es mostrar las diferentes formas de interacción.

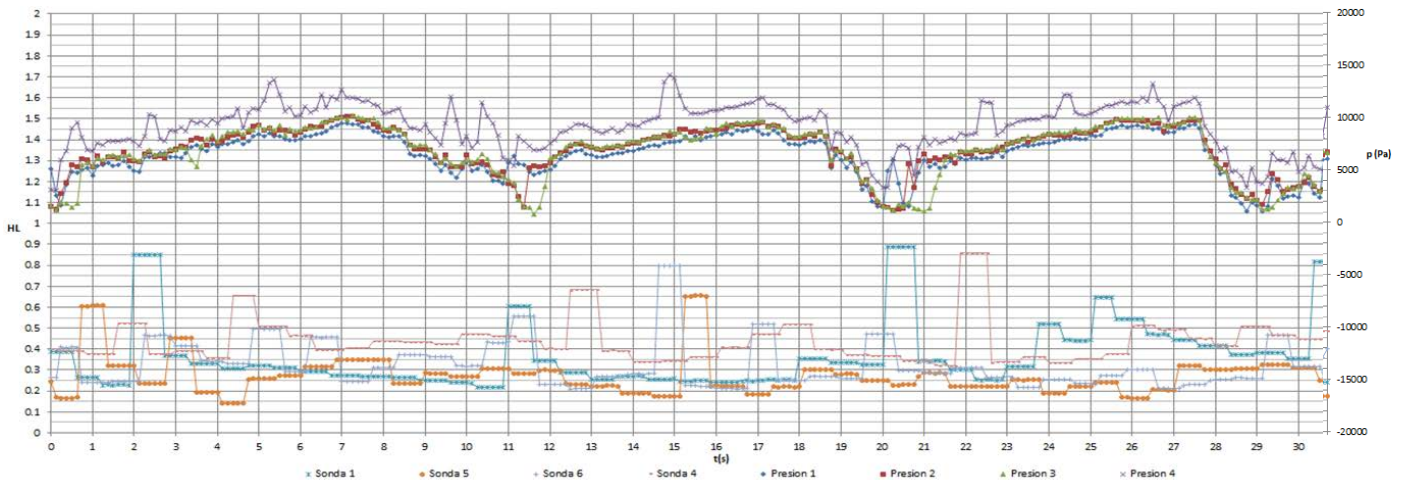
La figura 5 muestra la interacción de dos flujos slug ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) de la misma fracción volumétrica, misma velocidad, frecuencia en el ramal es 3 veces mayor que el de la línea principal y la longitud del slug de la línea principal es el doble que el del ramal (tabla II). Aunque no se debe esperar que estos parámetros se mantengan, si hay una influencia clara del impacto. La S1 mide la H<sub>LS</sub> de la línea principal y la S5 la H<sub>LS</sub> del ramal, la lectura de la S1

indica que se mantiene cierta regularidad y magnitud, mientras que la S5 sufre una variación fuerte tanto en magnitud como en frecuencia, la S4 que es el resultado en el colector, también es regular y aumenta ligeramente su frecuencia. La señal de presión muestra una oscilación regular, siendo el ramal P4 la zona de mayor presión, es decir hay una expansión más fuerte en el ramal que en la línea principal y en algunos instantes P2 es mayor que P1, lo que indica que el slug es frenado en esos momentos.



**Fig. 5.- Presiones y fracción volumétrica en las condiciones  $\alpha_1, \alpha_2$ ; confluencia a  $10^\circ$ .**

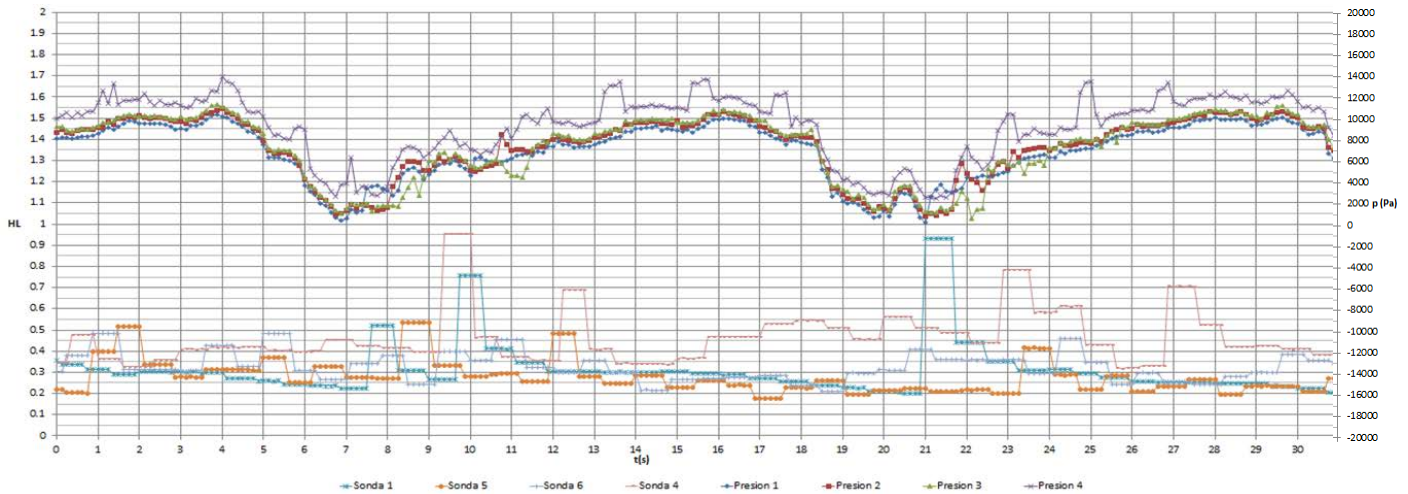
Si se cambian las condiciones de los slugs a ( $\gamma_1, \gamma_2$ ), es decir slugs ligeramente más rápidos pero con menor fracción volumétrica (con más aire), la frecuencia disminuye bastante pero siguen siendo más frecuentes los slugs del ramal, el tamaño también se reduce ligeramente pero son de mayor longitud los de la línea principal. Con estas condiciones se observa en la figura 6, que la S1 muestra una gran destrucción de slugs de la línea principal al igual que las del ramal y hay una tendencia a volver a formar el slug en el colector con la misma frecuencia de S1 y en general aumenta  $H_{L,S}$  en el colector. En lo que respecta a la presión, P4 del ramal es mayor que P2, que indica que hay una expansión, P1 es ligeramente menor que P2 lo que indica que este flujo es succionado y  $P3 < P2$  debido a la caída de presión en el colector. En general la forma de la señal de presión indica que hay periodo de destrucción y recomposición de slugs de alrededor de 9 segundos.



**Fig. 6.- Velocidades superficiales en los puntos  $\gamma_1, \gamma_2$ ; confluencia a  $10^\circ$ .**

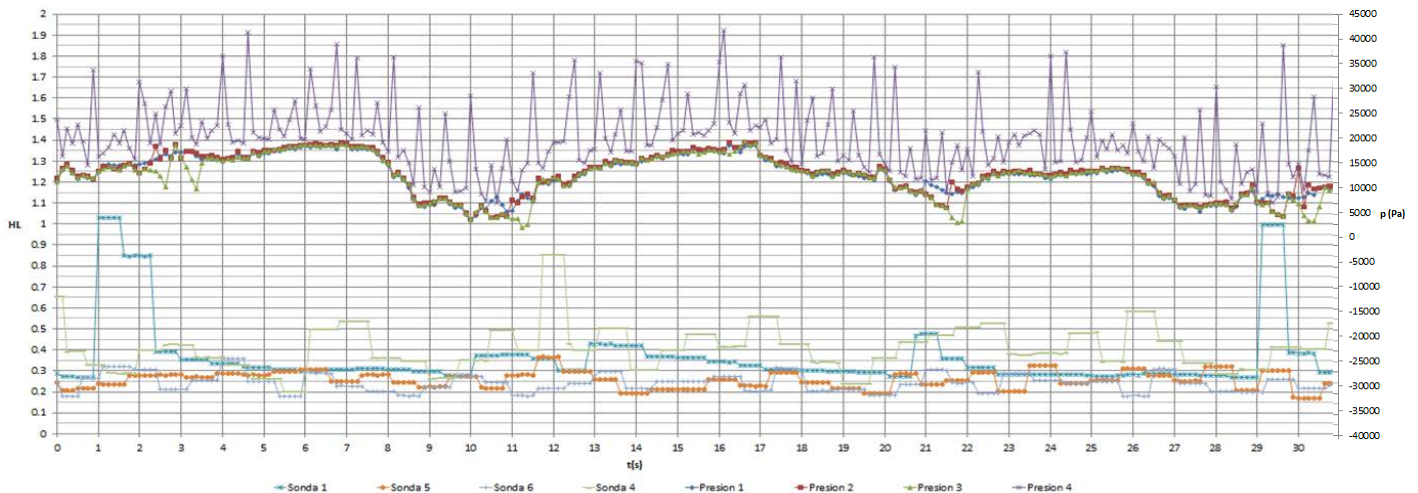
Si se mantienen las condiciones de los slugs a ( $\gamma_1, \gamma_2$ ), es decir slugs ligeramente más rápidos pero con menor fracción volumétrica (con más aire), pero se aumenta el ángulo de incidencia a  $20^\circ$  se tienen los siguientes

resultados. Se observa en la figura 7, que hay una mayor destrucción de slugs de la línea principal (S1) al igual que las del ramal (S2) y hay una tendencia a volver a formar el slug en el colector con más o menos la misma frecuencia de S1 y en general aumenta  $H_{LS}$  en el colector debido a la suma de los flujos másicos. En lo que respecta a la presión, P4 del ramal siempre es ligeramente mayor que P2 lo que indica que sigue habiendo una expansión, por otro lado P1 es casi igual a P2 en algunos instantes y en otros son iguales lo que indica que hay una pequeña succión-expansión oscilante, y  $P3 < P2$  debido a la caída de presión en el colector. En general la forma de la señal de presión indica que el periodo de destrucción y recomposición de slugs aumenta de 9 a 13 segundos, debido al cambio del ángulo de incidencia de  $10^\circ$  a  $20^\circ$ .



**Fig. 7.- Velocidades superficiales en los puntos  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ ; confluencia a  $20^\circ$ .**

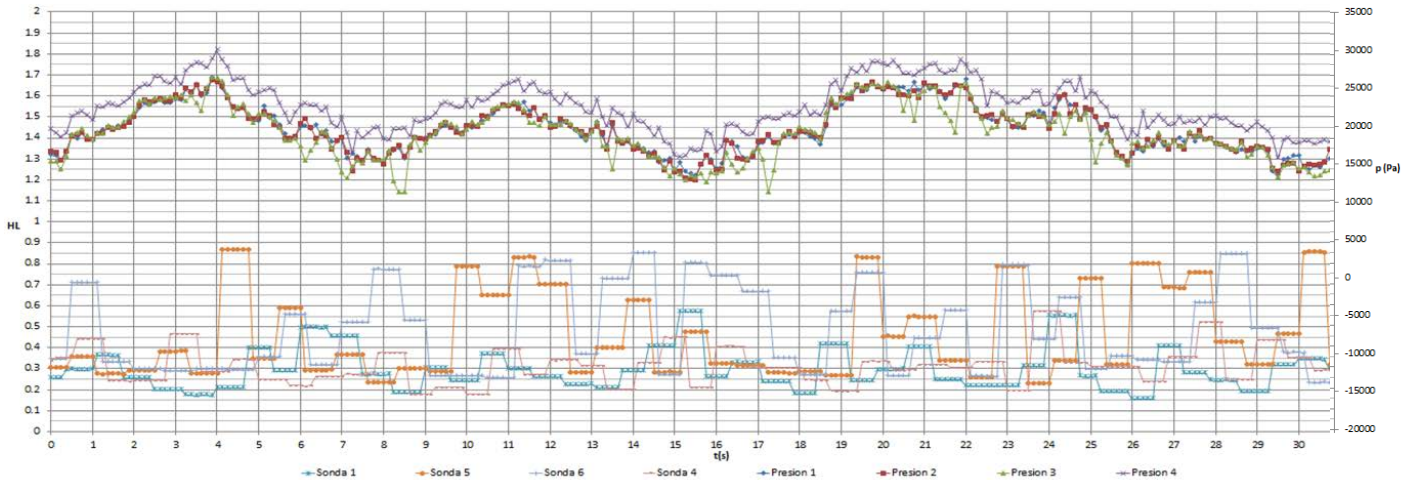
Si se combinan slugs ( $\gamma_1, \beta_2$ ), es decir slugs  $\gamma_1$  lentos, de baja frecuencia y alta fracción volumétrica, con slugs  $\beta_2$  de alta velocidad, de mayor frecuencia y de menor fracción volumétrica en el ramal, se obtiene lo siguiente. En la figura 8 se observa, que la S1 muestra una gran destrucción de slugs de la línea principal y prácticamente todos los del ramal y hay una tendencia a volver a formar el slug en el colector con una frecuencia mayor que S1 y en general aumenta  $H_{LS}$  en el colector. En lo que respecta a P4 del ramal es mayor que P2 y muestra una gran oscilación de alta frecuencia lo que indica que hay destrucción de los slugs del ramal, P1 es prácticamente igual a P2 lo que indica que la caída de presión es mínima y el flujo de la línea principal es la que domina el fenómeno. La forma de la señal de presión indica que hay periodo irregular de destrucción y recomposición de slugs.





**Fig. 8.- Velocidades superficiales en los puntos  $\gamma 1$  y  $\beta 2$ ; confluencia a  $20^\circ$ .**

Finalmente, si se combinan slugs ( $\gamma 1$ ,  $\alpha 2$ ), en una confluencia de  $10^\circ$ , es decir slugs  $\gamma 1$  lentos, de baja frecuencia y alta fracción volumétrica, con slugs  $\alpha 2$  de menor velocidad, de mayor frecuencia y de ligeramente mayor fracción volumétrica en el ramal, se tienen los siguientes resultados. En la figura 9 se observa que la S1 muestra slugs de la línea principal de menor  $H_{LS}$  y la sonda S5 (ramal) muestra slugs de mayor  $H_{LS}$ , y mayor frecuencia, además, se forman slugs en el colector con una frecuencia mayor que el indicado por S1 y con mayor  $H_{LS}$  en el colector. En lo que respecta a la presión, P4 del ramal siempre es mayor que P2 sin grandes oscilaciones lo que indica que no hay destrucción de los slugs del ramal, P1 es prácticamente igual a P2 es decir, la caída de presión es mínima y hay un reacomodo de los slugs. En general la forma de la señal de presión muestra que hay oscilaciones de formación de slugs de alto y bajo  $H_{LS}$  pero se sigue manteniendo el flujo slug en las tres líneas.



**Fig.13.- Velocidades superficiales en los puntos  $\lambda 1$ ,  $\alpha 2$ ; confluencia a  $10^\circ$ .**

#### 4.1 CONCLUSIONES

Se analizó la interacción de varias combinaciones de flujo slug del ramal y la línea principal en dos confluencias de  $10^\circ$  y  $20^\circ$ .

Se encontró que hay una influencia muy importante de las características de los slugs y de los ángulos de incidencia de las tuberías, no solo en el flujo resultante en el colector sino también en el cambio de las características del flujo slug proveniente del ramal y la línea principal.

Existen diferentes tipos de choques en la confluencia, sin embargo, aún cuando las condiciones de flujo volumétrico son las mismas, cuando se impacta slug con slug, se desvanece el de menor momentum y normalmente es el de la línea ramal.

Cuando se encuentran tapón en la línea principal con burbuja de Taylor en el ramal y viceversa, hay un freno instantáneo y posteriormente una succión, que puede destruir el slug.

Lo ideal sería intercalar el slug del ramal en la burbuja de Taylor de la línea principal, sin embargo, esto es difícil lograr debido al carácter aleatorio del fenómeno, aunque en algunos casos se logra sobre todo a bajos flujos de aire en ambas tuberías, es decir cuando se tienen slugs con fracción volumétrica de líquido  $H_{LS}$  grande.

Se observó desde la vista superior de la confluencia que siempre existe una pequeña expansión hacia la tubería ramal, provocada por el flujo de la tubería principal (que desde las vistas laterales aparenta un escalón de agua), para cada combinación de los puntos que se experimentaron en 20° y 10°. Esta expansión es mayor para la confluencia de 20°.

Por otro lado, se puede apreciar en los videos y fotografías que para todos los casos, hay un estancamiento momentáneo cuando coinciden en el punto de choque las burbujas de ambas tuberías.

Es natural que los resultados experimentales sean diferentes a los resultados obtenidos usando los modelos para tuberías horizontales sin confluencia. La diferencia radica precisamente en el efecto de la interacción de los dos flujos slug en la confluencia.

## REFERENCIAS

- Campione A. I. (2005), "El problema del flujo bifásico". *Ensayo Petróleo YV energizando ideas*.
- Cruz Maya J. A. (1997), "Caracterización del flujo slug en tuberías horizontales". *Tesis de Maestría*, SEPI-ESIME Unidad Zacatenco.
- Gregory, G. A., Nicholson, M. K. & Aziz, K. (1978) "Correlation of the liquid volume fraction in the slug for horizontal gas liquid slug flow". *Int. J. Multiphase Flow* **4**, 33-39.
- Levy Salomon (1999), "Two – Phase Flow in complex systems". *A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc.*
- Mandhane, J. M., Gregory G. A. and Aziz, K. (1974). "A Flow Pattern Map for Gas-liquid Flow in Horizontal Pipes." *International Journal of Multi phase Flow* **1**: 537-553.
- Sánchez Silva F. y Acevedo Ruiz M. A. (1985), "Análisis de colectores conduciendo mezcla bifásica", *Informe Instituto de investigaciones eléctricas IIE/44/3250/I-9/P*, abril 1985.
- Sánchez Silva F. (1998), Toledo Velázquez M. and Hernández Gómez A. "Slug Flow Momentum Transfer Analysis to Determine the Forces Acting on a 90° Elbow in a Horizontal Pipe". *3th International Conference on Multiphase Flow ICMF'98*. Lyon, France, June 8-12, 1998.
- Shoham Ovadia (2001), "Two – Phase Flow Modeling". The University of Tulsa.

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

### **Authorization and Disclaimer**

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*