

## **Aplicación de planillas de cálculo para el diseño de construcciones en mampostería sismorresistente**



Alberto Elicabe, Nahuel Ghezan, Eduardo Rodriguez

### **Introducción**

El reconocimiento de las habilidades de los estudiantes de arquitectura en cuanto a expresar y comprender mejor cualquier fenómeno a través de la imagen y la irrupción de la tecnología como un hecho cotidiano, orientó a la búsqueda de procesos metodológicos y nuevos elementos didácticos.

En general, se detecta que el alumno tiene debilidades en el campo de la articulación entre los conceptos teóricos y su aplicación práctica en el diseño.

A partir de esta realidad, se desarrollaron una serie de planillas que permiten proponer alternativas estructurales, cotejarlas con las otras variables del diseño y obtener resultados rápidamente. Esto estimula la propuesta y el diseño de un mecanismo estructural compatible y coherente con el proyecto desde las tempranas etapas del quehacer arquitectónico.

Se incorporaron planillas con hipertextos y pestañas, atendiendo a la lógica de multipantallas, propuesta por Internet, en las que se encuentra información reglamentaria textual y gráfica.

Estas herramientas didácticas tienen como objetivo:

- Facilitar la resolución de cálculos complejos para que el alumno se enfoque en el proyecto de arquitectura y permitiéndole comprobar rápidamente distintas alternativas de resolución estructural para aplicarlas en su diseño.
- Incorporar herramientas acordes a las habilidades propias del estudiante de arquitectura y a las nuevas tecnologías.

Una de las planillas desarrolladas se aplica al diseño de estructuras de mampostería sismorresistente y es objeto de este trabajo.

### Planilla de muros sismorresistentes

La herramienta desarrollada está orientada a facilitar el proceso de diseño de la estructura, permitiendo su estudio de manera simultánea al diseño del resto de los elementos del proyecto arquitectónico. Posteriormente, una vez superada la etapa de anteproyecto, la misma planilla brindará el cálculo de fuerzas sísmicas y el diseño y dimensionado de los encadenados verticales y horizontales necesarios.

La planilla de cálculo se divide en seis hojas, cada una destinada a una etapa del diseño de la estructura:

- Evaluación de excentricidad
- Análisis de cargas sísmicas
- Análisis de cargas gravitatorias
- Dimensionado de encadenados verticales
- Dimensionado de encadenados horizontales
- Detalles de armaduras

### Evaluación de excentricidad

En la primera hoja y como primera instancia del proceso de diseño, se evalúa de manera gráfica y sencilla la excentricidad torsional del proyecto, y se permite realizar los ajustes necesarios para lograr una mayor eficiencia según el criterio del proyectista, quien podrá evaluar este parámetro en simultáneo con las demás condicionantes del diseño arquitectónico. (Fig. 1)

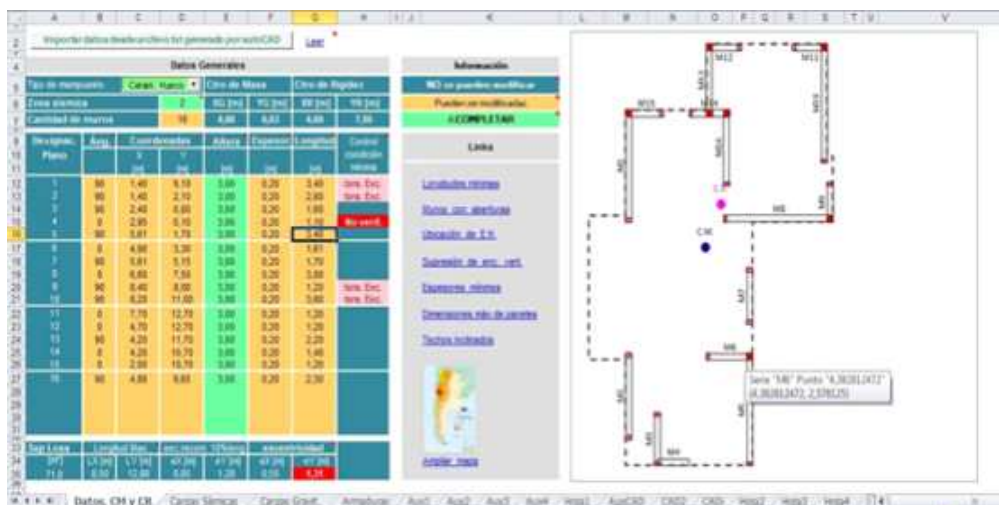


Figura 1. Evaluación de excentricidad

Los datos a introducir en esta etapa son la posición, geometría y material de los muros y la zona sísmica donde se ubica el proyecto. Los datos geométricos pueden ser importados desde un dibujo de AutoCad, mediante una rutina AutoLisp especialmente programada para ello.

Una vez introducidos los datos, se puede observar a la derecha de la planilla, el esquema del proyecto. El programa detecta los muros sismorresistentes conforme a la reglamentación vigente para la zona sísmica y tipo de mampuesto especificado, determina gráfica y numéricamente la posición de los centros de masa y rigidez, calcula las excentricidades iniciales entre ellos y ubica gráficamente los encadenados verticales en los planos resistentes.

A partir de allí se posibilita rápidamente mediante la modificación de la planilla de datos, alargar, acortar, agregar o eliminar algún muro para optimizar la construcción minimizando los efectos torsionales, observando los cambios inmediatamente en el gráfico que se encuentra en la pantalla.

A la derecha del sector de introducción de datos se ubica un listado de vínculos con la información reglamentaria correspondiente a la selección de muros y ubicación de encadenados.

### Análisis de cargas sísmicas

Una vez realizada la optimización, en la segunda hoja de la planilla se calcula el corte basal correspondiente a la construcción, mediante la evaluación del coeficiente sísmico y el peso total de la masa vibrante de la construcción (Fig. 2).

Tabla	Valor	Unidad	Comentario
Tubo Losa (kg)	15,00		
Carga permanente (kg/m²)	100		
Tubo carga de agua (kg/m²)	100		Activada/Desactivada
Factor de simultaneidad s	0,90		Presencia/ausencia
Total peso (W) = (Wp + Wa + Wg) (kg)	3000,0		
Factor de viento (kg/m²)	100		
Tubo peso viento (Wv) (kg)	2000,0		
Tubo peso nieve (Wn) (kg)	0,00		
Tubo peso impacto (Wi) (kg)	0,00		
W = Peso Losa + (Peso Muro) + Otros pesos (kg)	4000,0		Peso de la construcción
Factor de viento	1,4		Categoría de viento
Zona sísmica	3		Nombre Zona Sísmica
Dist. Tipo de Ladrillo			Nombre ladrillo
Coef. coef. sismorresistente (valor)	0,07		Cat. Sismorresistente
C = Coef. - y0	0,279		
<b>V0 (t) = C · W</b>	<b>12,15</b>		

Figura 2. Hoja de Excel para determinar la fuerza sísmica equivalente

Para el cálculo del peso de la construcción se tienen en cuenta el peso de losa, muros, tanque de agua, y cualquier otro peso adicional que el alumno crea conveniente considerar.

El peso de losa se calcula ingresando el valor de carga permanente por metro cuadrado de losa, y se seleccionando de un menú desplegable el uso previsto para el entrepiso y la posibilidad de presencia de

la sobrecarga. A partir de estos parámetros la planilla asigna una sobrecarga de uso, un coeficiente de simultaneidad, y calcula el peso total de la losa.

El peso de los muros se calcula automáticamente a partir de los datos ingresados en la hoja anterior, y el peso del tanque se ingresa manualmente al igual que cualquier otro peso adicional.

Por último, para asignar el coeficiente sísmico solo será necesario seleccionar un factor de riesgo ya que el resto de los datos necesarios también son tomados de la hoja anterior.

Al igual que en el ingreso de datos de muros, a la derecha de la planilla se encuentra un listado de vínculos con información reglamentaria para cada uno de los datos a introducir.

### Análisis de cargas gravitatorias

Para la verificación final de la resistencia de los muros será necesario el cálculo de la carga gravitatoria actuante sobre cada uno de ellos. Esto se realiza a partir de la superficie de influencia que le corresponde y el peso por metro cuadrado de losa introducido anteriormente. También se deberá seleccionar la calidad del mampuesto utilizado y del mortero, a través de los cuales la planilla indicará las resistencias de compresión y corte correspondientes.

Luego de introducir estos datos, se calcula automáticamente la carga vertical y las horizontales debidas a traslación y torsión de cada muro, y se indica con color rojo la condición que no verifique con la reglamentación vigente, brindando el resultado de corte máximo que corresponde a cada muro y la capacidad resistente del muro a corte y pandeo (Fig. 3).

Datos Generales												
Calid. del ladrillo: Ceram. Hueco		TIPO B		Clasific. calidad de ladrillos		Resistencia a la compresión de la mampostería		f <sub>cm</sub> (MPa)		12		
Resistencia del mortero:		NORMAL		Clasific. tipo de mortero		Resistencia a la compresión del mortero		f <sub>cm</sub> (MPa)		2.0		
Design Plano	Largo Muro (m)	q losa qD + qL (kg/m²)	q propuesta (kg/m²)	Area de influencia (m²)	Normal aplicación	V <sub>y</sub> (t)	V <sub>x</sub> (t)	N <sub>y</sub> (t)	N <sub>x</sub> (t)	N <sub>compresión</sub> (t)	N <sub>corte</sub> (t)	Obs.
1	3.40	0.60	1.00	1.00	0.00	9.11	7.64	2.84	13.41	18.75	18.75	Tors. exc.
2	2.60	0.60	10.00	10.00	6.00	4.43	7.02	7.72	10.26	14.34	14.34	Tors. exc.
3	1.60	0.60	6.00	6.00	3.00	1.22	4.30	4.66	6.31	8.82	8.82	
4	1.10	0.60	0.00	0.00	0.00							
5	3.40	0.60	0.00	8.00	4.80	4.59	8.63	7.04	13.41	18.75	18.75	
6	1.61	0.60	0.00	30.00	18.00	4.06	7.38	19.06	6.35	8.88	8.88	
7	1.70	0.60	0.00	11.00	6.60	0.99	5.16	7.79	6.71	9.37	9.37	
8	3.80	0.60	0.00	12.00	7.20	19.47	9.92	9.71	14.98	20.96	20.96	
9	1.20	0.60	0.00	5.00	3.00	0.66	3.29	3.79	4.73	6.52	6.52	Tors. exc.
10	3.60	0.60	0.00	5.00	3.00	9.51	8.59	5.38	14.20	19.85	19.85	Tors. exc.
11	1.20	0.60	0.00	6.00	3.60	1.07	3.41	4.39	4.73	6.62	6.62	
12	1.20	0.60	0.00	8.00	4.80	1.07	3.67	4.64	4.73	6.62	6.62	
13	2.20	0.60	0.00	10.35	6.21	1.94	6.18	7.66	8.68	12.13	12.13	
14	1.40	0.60	0.00	40.00	24.00	1.62	8.19	24.92	5.52	7.72	7.72	
15	1.20	0.60	0.00	0.00	0.00	1.07	2.65	0.79	4.73	6.52	6.52	
16	2.30	0.60	0.00	1.85	1.11	1.99	6.31	2.83	9.07	12.68	12.68	

Figura 3. Cargas gravitatorias y evaluación de la capacidad resistente de cada muro

Dimensionado de encadenados verticales

El dimensionado de los encadenados verticales se realiza de manera automática, tomando como referencia el espesor de cada muro resistente y las secciones mínimas indicadas por el reglamento, que puede ser consultada gráficamente en la tabla que se encuentra en la parte inferior de la hoja de cálculo.

Las secciones, armaduras longitudinales, estribos de zona normal y crítica de cada uno de los encadenados verticales se indican en una tabla con un número de referencia, acompañado de un esquema de la planta de la construcción con la ubicación de cada uno en los muros resistentes. (Fig. 4)

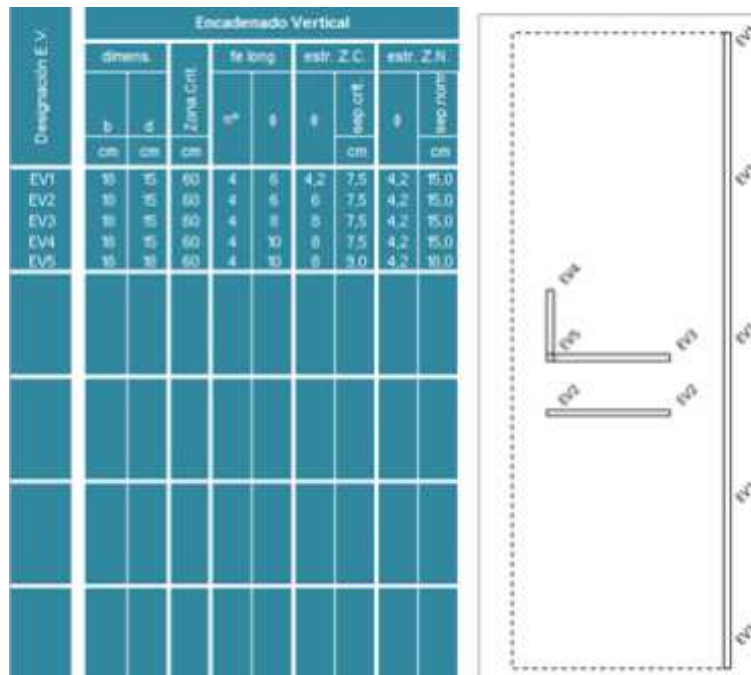


Figura. 4. Sección, armadura y ubicación de encadenados verticales

**Dimensionado de encadenados horizontales**

Para los encadenados horizontales el ancho estará determinado por el espesor de cada muro y el alumno solo deberá definir la altura de los mismos, en función del espesor de losa para el encadenado horizontal superior, y de la fundación para el encadenado horizontal inferior.

De manera similar a la hoja anterior, se muestran las secciones y armaduras para cada tipo de encadenado, y su ubicación en un esquema de la planta (Fig. 5 y 6). En caso de ser necesario un encadenado horizontal intermedio, este se indica mediante una línea roja.

Enc. Horiz. Superior										Enc. Horiz. Inferior									
dimensión d [cm]										dimensión d [cm]									
Designación E.H. Sup.	dimens.		Zona Crit.	fe long		estribos													
	b	d		n°	φ	estr. Z.C.		estr. Z.N.											
			sep.crit.			φ	sep.norm.	φ											
	cm	cm	cm			cm		cm											
E.H.Sup. 1	18	10	60	4	6	4.2	5	4.2	10	E.H.Inf. 1	18	20	60	4	6	4.2	8.5	4.2	17
E.H.Sup. 2	18	10	60	4	8	4.2	5	4.2	10	E.H.Inf. 2	18	20	60	4	8	4.2	8.5	4.2	17
E.H.Sup. 3	18	10	60	4	10	4.2	5	4.2	10	E.H.Inf. 3	18	20	60	4	10	4.2	8.5	4.2	17
E.H.Sup. 4	18	10	60	4	12	4.2	5	4.2	10	E.H.Inf. 4	18	20	60	4	12	4.2	8.5	4.2	17

Figura 5. Encadenados horizontales

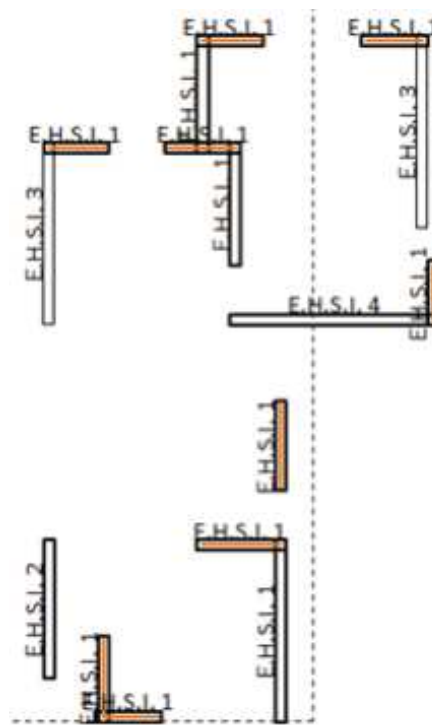


Figura 6.

Ubicación de encadenados horizontales

### Detalles de armaduras

Por último la planilla provee el detalle de armaduras para cada muro, mediante una vista frontal (Fig. 7), donde se podrá seleccionar el tipo de fundación y, en caso de ser necesario, modificar la sección de los encadenados o agregar uno intermedio (Fig 8).

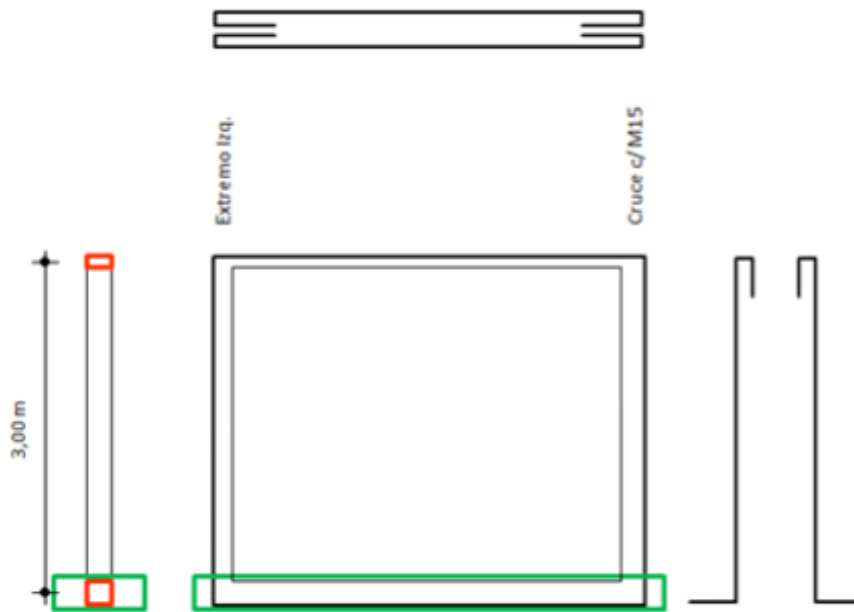


Figura 7.  
Vista de muro encadenado y detalle de armaduras longitudinales

Encadenados Horizontales												
Nombre E.H.	Tipificación	dimens.		dimens.		Zona Crit	fe long		estr. Z.C.		estr. Z.N.	
		b	d	b	d		n°	↓	↓	Sep.	↓	Sep.
		cm	cm	cm	cm		cm			cm		cm
Enc. Horiz. SUPERIOR	E.H.Sup.3			18	10	60	4	10	4,2	5,0	4,2	10,0
Enc. Horiz. INFERIOR	E.H.Inf.3			18	20	60	4	10	4,2	8,5	4,2	17,0

Encadenados Verticales												
Nombre E.V.	Tipificación	dimens.		dimens.		Zona Crit	fe long		estr. Z.C.		estr. Z.N.	
		b	d	b	d		n°	↓	↓	Sep.	↓	Sep.
		cm	cm	cm	cm		cm			cm		cm
Extremo Izq.	EV3			18	15	60	4	8	8	7,5	4,2	15,0
Cruce c/ M15	EV5			18	18	60	4	8	8	9,0	4,2	18,0

Figura 8.  
Detalle de encadenados del muro seleccionado

