



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

VICERRECTORADO ACADÉMICO

DIRECCIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES

MEMORIA DE ARTÍCULOS

DOMINIO 4

ORDENAMIENTO TERRITORIAL, URBANISMO Y SOSTENIBILIDAD



I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH 2015





I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA UTMACH 2015

Memoria de Artículos

centro_de_investigaciones@utmachala.edu.ec



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL EDIFICIO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MACHALA

Jonathan Lo Key Lao García
Universidad Técnica de Machala
jonathanlaogar@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo está destinado a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del Edificio Palacio Municipal, el cual se encuentra en el casco urbano de la ciudad de Machala, este edificio esta categorizado como edificación esencial según la NEC-11. Esta evaluación de la vulnerabilidad sísmica se realizó aplicando métodos analíticos, basados en el análisis no lineal de estructuras, como es el caso del análisis tiempo-historia (no lineal) y el análisis estático no lineal (Push-over), a tal fin se utilizó el programa SAP2000 V-15. Cabe recalcar que la aplicación de métodos analíticos, permite el desarrollo de estudios de vulnerabilidad sísmica a nivel detallado. Si bien, este nivel de evaluación, persigue el diagnóstico más confiable posible del desempeño sísmico de las edificaciones, requiere la aplicación de importantes recursos y tiempo.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, edificación, push-over, análisis tiempo-historia

ABSTRACT

This paper is aimed at evaluating the seismic vulnerability of City Hall Building, which is located in the urban area of the city of Machala, this building is categorized as an essential building according to NEC-11. This assessment of the seismic vulnerability was performed by applying analytical methods based on nonlinear analysis of structures, such as time-history analysis (nonlinear) and nonlinear static analysis (push-over), to this end used the V-15 program SAP2000. It should be noted that the application of analytical methods, allows the development of seismic vulnerability studies to detailed level. While this level of evaluation, aims to more reliable diagnosis possible the seismic performance of buildings, requires the application of significant resources and time.

Keywords: Seismic vulnerability, building, push-over, time-history analysis

INTRODUCCIÓN

El edificio Palacio Municipal de la ciudad de Machala según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11, 2011), se encuentra dentro del grupo de las denominadas edificaciones esenciales por ser una instalación de vital importancia debido a la relevante función que desempeña en la vida social de la comunidad Orense puesto que allí se realiza la planificación, coordinación, administración de obras, y las gestiones para una eventual emergencia sísmica, es por esto que se impone la necesidad de evaluar tanto su vulnerabilidad física como funcional, y crear un cuerpo de prescripciones específicas que permitan adecuar las existentes y construir las nuevas edificaciones con requisitos compatibles a su nivel de importancia.

En la actualidad un alto porcentaje de edificaciones esenciales carecen de consideraciones sismo resistentes. Los códigos de diseño sísmico básicamente se han limitado a elevar los niveles de fuerzas de diseño como estrategia para reducir el nivel de riesgo de estas y otras instalaciones calificadas de importancia vital para atender situaciones de emergencia debido a un evento sísmico (ATC-40, 2006), (ASCE 7-10, 2010), (FEMA-440, 2010). “La experiencia muestra cómo en los últimos terremotos, un significativo número de estas instalaciones han sufrido daño, en mayor o menor grado, de manera que ha reducido su capacidad de prestar servicio generando un escenario crítico para la atención del desastre.

Por otra parte, las características de ocupación de estas instalaciones, el preponderante papel que ejercen durante la atención de una crisis sísmica, el carácter vital y estratégico de la preservación de su funcionalidad, las características de equipamiento y contenido, así como los elevados costos de reposición de daños hacen que las edificaciones esenciales requieran consideraciones especiales en relación con la mitigación del riesgo sísmico y que las estrategias hasta ahora adoptadas no han sido suficientes para reducirlo. (Bazán y col., 1985), (Rochel, 2006),

(Rebolledo, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de vulnerabilidad sísmica se utilizó los siguientes materiales:

- Programa SAP 2000 v.15
- Planos estructurales de diseño del edificio Palacio Municipal de Machala

Los métodos utilizados, están basados en el comportamiento lineal y no lineal de estructuras y se los ha disgregado mediante las etapas de análisis como se muestra en la Tabla.1.

Análisis Estático Equivalente

Este método consiste en calcular las cargas sísmicas de diseño de la edificación, para lo cual se utilizan ciertos parámetros como por ejemplo la geometría que tiene el edificio, los tipos de carga empleados para el análisis y diseño del mismo, etc. La norma ecuatoriana de la construcción (NEC-11, 2011) establece los lineamientos para determinar las cargas sísmicas.

La Tabla.2 en la columna (W) muestra los pesos debida a la carga muerta (elementos estructurales, mampostería) que existen en los diversos entresijos de la edificación. La columna siguiente (Fx) muestra las fuerzas sísmicas distribuidas por niveles en sentido X y la columna (Vx) los cortantes acumulados por piso, finalmente la última columna que muestra la rigideces por piso de la estructura obtenidas mediante las formulas Wilbur. De igual forma se muestra en la Tabla.3 para la dirección Y del edificio.

En la práctica para obtener el período fundamental de vibración se realiza un modelo tridimensional de la estructura con ayuda de programas de computadora, existen muchos software para cálculo y diseño estructural, entre ellos el SAP2000, PERFORM 3D, ETAPS. Entre estos he escogido el SAP 2000 V-15 para realizar un análisis de modos y obtener el período fundamental de la estructura se presenta la siguiente tabla de trata los resultados obtenidos del programa.

Tabla.1 Métodos basados en el comportamiento lineal y no lineal de estructuras

Métodos	Comportamiento Lineal	Comportamiento No Lineal
Análisis estático equivalente	X	
Análisis Matricial	X	
Análisis tiempo-historia		X
Análisis Push-Over		X

Elaboración propia: Lao (2014)

Tabla 2. Calculo del período fundamental de vibración de la estructura en el sentido X

Periodo fundamental, sismo X

NIVEL	W (ton)	$V_x(ton)$ $V=(I*S_a)/(R*\phi_P * \phi_E) W$	$F_x(ton)$ $F_x = \frac{W_x h x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} V$	V_x $V_x = \sum_{i=x}^n F_i$ (ton)	$\sum K_x$ (ton/cm)	V_x/K_x (cm)	δ (cm)	W x δ_2 (ton x cm2)	F_x x δ (ton x m)	T_x (s)
10	84.21	667.75	23.19	23.19	10.19	2.276	41.43	144508.87	960.472	2.505
9	598.43	667.75	143.50	166.69	25.48	6.543	39.149	917181.79	5617.928	
8	598.43	667.75	122.96	289.65	43.27	6.693	32.606	636232.97	4009.284	
7	598.43	667.75	103.21	392.85	88.13	4.458	25.913	401830.99	2674.363	
6	598.43	667.75	84.31	477.17	94.75	5.036	21.455	275476.19	1808.988	
5	598.43	667.75	66.38	543.55	117.59	4.623	16.419	161329.39	1089.931	
4	598.43	667.75	49.54	593.09	139.33	4.257	11.797	83277.72	584.391	
3	719.46	667.75	40.84	633.93	161.89	3.916	7.540	40900.46	307.918	
2	719.46	667.75	23.99	657.92	233.81	2.814	3.624	9448.62	86.956	
1	731.43	667.75	9.83	667.75	824.34	0.810	0.810	479.94	7.961	
Σ	5845.14					41.43		2670666.94	17148.19	

Elaboración propia: Lao (2014)

Tabla 3. Calculo del período fundamental de vibración de la estructura en el sentido Y

Periodo fundamental, sismo Y

NIVEL	W (ton)	$V_x(ton)$ $V=(I*S_a)/(R*\phi_P * \phi_E) W$	$F_x(ton)$ $F_x = \frac{W_x h x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} V$	V_x $V_x = \sum_{i=x}^n F_i$ (ton)	$\sum K_y$ (ton/cm)	V_y/K_y (cm)	δ (cm)	W x δ_2 (ton x cm2)	F_y x δ (ton x m)	T_y (s)
10	84.21	667.75	23.19	23.19	8.40	2.762	48.73	200004.06	1129.944	2.747
9	598.43	667.75	143.50	166.69	25.52	6.531	45.973	1264788.44	6597.166	
8	598.43	667.75	122.96	289.65	36.60	7.914	39.442	930943.69	4849.762	
7	598.43	667.75	103.21	392.85	75.08	5.233	31.527	594829.05	3253.829	
6	598.43	667.75	84.31	477.17	80.89	5.899	26.295	413765.79	2217.027	
5	598.43	667.75	66.38	543.55	99.15	5.482	20.396	248934.96	1353.896	
4	598.43	667.75	49.54	593.09	109.18	5.432	14.914	133102.34	738.808	
3	719.46	667.75	40.84	633.93	124.40	5.096	9.482	64682.10	387.224	
2	719.46	667.75	23.99	657.92	187.87	3.502	4.386	13840.20	105.241	
1	731.43	667.75	9.83	667.75	755.36	0.884	0.884	571.60	8.688	
Σ	5845.14					48.73		3865462.21	20641.59	

Elaboración propia: Lao (2014)

Los períodos de vibración de la estructura fueron calculados mediante la ecuación (2-22) de la (NEC-11, 2011).

$$T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i}{g \sum_{i=1}^n F_i \delta_i}} \quad Ec(1)$$

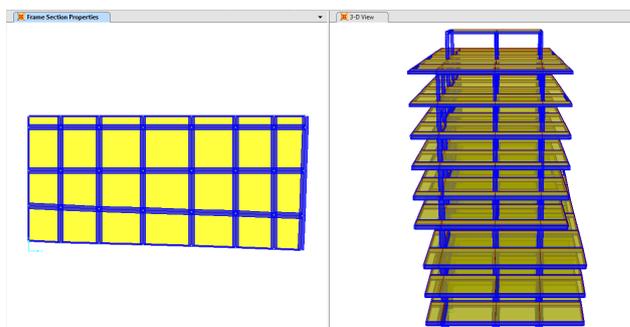
Los resultados del período natural de vibración del Edificio Palacio Municipal utilizando la (NEC-11, 2011), (CEC-2000, 2000), (CEC-77, 1977), (ver Tabla 2 y Tabla 3) y los obtenidos mediante el análisis por ordenador son casi idénticos, los valores fluctúan entre 2 y 3 segundos en ambas direcciones de la estructura lo que da a entender que la estructura no es muy rígida.

Análisis Matricial

Para este método necesito determinar la matriz de rigidez lateral, teniendo en cuenta que los volados existentes no aportan ninguna rigidez por lo cual no se los incluye y se trabajara con las luces eje a eje de la estructura.

Para la obtención de la matriz de rigidez lateral necesaria para el análisis matricial usaremos el programa "MATLAB" para sistemas aporticados, dada su

Figura 1. Modelo estructural de la edificación realizado en SAP 2000 V15



Elaboración propia: Lao (2014)

Tabla 6. Modos de vibración ordenados

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0.000	-0.023	0.005	0.001	-0.036	-0.006	-0.001	0.028	-0.002	-0.062	0.019	0.005	-0.004	0.290	0.014	0.013	0.331	0.000	-0.022	-0.500	-0.004	0.033	0.646	-0.015	-0.043	0.727	-0.075	0.084	1.000	0.240	
2	-0.002	-0.083	0.013	0.003	-0.123	-0.012	-0.004	0.091	-0.008	-0.186	0.046	0.014	-0.012	0.728	0.027	0.026	0.651	0.009	-0.030	-0.685	-0.016	0.022	0.521	-0.053	0.006	0.006	0.126	-0.072	-0.852	-0.208	
3	-0.004	-0.164	0.021	0.006	-0.226	-0.018	-0.006	0.145	-0.011	-0.264	0.066	0.015	-0.010	0.697	0.053	0.006	0.248	0.056	0.015	0.254	-0.019	-0.044	-0.713	0.030	0.033	-0.685	-0.155	0.050	0.554	0.119	
4	-0.006	-0.261	0.039	0.008	-0.317	-0.032	-0.007	0.158	-0.009	-0.213	0.063	0.005	0.004	-0.020	0.022	-0.024	-0.590	-0.011	0.032	0.779	0.044	0.007	-0.159	0.069	-0.057	1.000	0.144	-0.033	-0.328	-0.058	
5	-0.009	-0.369	0.066	0.009	-0.372	-0.050	-0.005	0.110	-0.001	-0.024	0.026	-0.011	0.017	-0.875	-0.055	-0.020	-0.652	-0.105	-0.022	-0.351	0.021	0.056	0.963	-0.104	0.041	-0.654	-0.076	0.013	0.127	0.022	
6	-0.011	-0.490	0.101	0.008	-0.350	-0.062	0.001	-0.010	0.009	0.231	-0.039	-0.017	0.010	-0.748	-0.074	0.026	0.585	0.020	-0.028	-0.725	-0.077	-0.075	-1.000	0.084	-0.020	0.298	0.030	-0.004	-0.038	-0.006	
7	-0.013	-0.605	0.136	0.005	-0.227	-0.054	0.006	-0.137	0.014	0.312	-0.077	-0.002	-0.013	0.470	0.024	0.021	0.638	0.117	0.046	1.000	0.074	0.053	0.620	-0.047	0.008	-0.114	-0.011	0.001	0.011	0.002	
8	-0.016	-0.743	0.179	-0.003	0.062	-0.011	0.008	-0.185	0.003	0.032	-0.031	0.017	-0.016	1.000	0.092	-0.040	-1.000	-0.125	-0.030	-0.596	-0.038	-0.023	-0.241	0.017	-0.002	0.031	0.003	0.000	-0.002	0.000	
9	-0.019	-0.879	0.223	-0.012	0.455	0.062	0.003	-0.041	-0.015	-0.374	0.071	0.002	0.018	-0.740	-0.063	0.018	0.427	0.049	0.010	0.183	0.011	0.006	0.060	-0.004	0.000	-0.006	-0.001	0.000	0.000	0.000	
10	-0.021	-1.000	0.265	-0.027	1.000	0.209	-0.048	1.000	0.028	1.000	-0.089	-0.046	-0.035	0.701	0.062	-0.012	-0.244	-0.027	-0.004	-0.076	-0.004	-0.002	-0.020	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	
11	0.023	-0.001	-0.042	-0.038	-0.001	0.055	0.032	0.002	0.057	-0.003	-0.103	-0.209	0.121	0.011	-0.399	-0.327	0.014	-0.542	0.496	-0.022	0.807	-0.504	0.026	0.928	0.734	0.039	-0.713	-1.000	0.087	-1.000	
12	0.084	-0.003	-0.143	-0.132	-0.004	0.175	0.103	0.005	0.169	-0.009	-0.288	-0.534	0.298	0.027	-0.873	-0.634	0.025	-0.882	0.663	-0.028	0.728	-0.357	0.017	0.359	-0.040	-0.002	0.090	0.861	-0.083	0.964	
13	0.168	-0.006	-0.272	-0.244	-0.007	0.299	0.163	0.007	0.237	-0.013	-0.392	-0.537	0.263	0.024	-0.614	-0.210	0.008	-0.052	-0.282	0.014	-0.784	0.590	-0.033	-1.000	-0.641	-0.036	0.607	-0.573	0.065	-0.761	
14	0.268	-0.009	-0.391	-0.344	-0.010	0.368	0.174	0.008	0.187	-0.010	-0.326	-0.064	-0.054	-0.003	0.284	0.595	-0.025	0.870	-0.747	0.033	-0.460	0.011	0.002	0.434	1.000	0.059	-1.000	0.347	-0.047	0.554	
15	0.378	-0.012	-0.496	-0.401	-0.011	0.372	0.112	0.004	0.013	0.000	-0.101	0.560	-0.388	-0.034	0.979	0.592	-0.025	0.489	0.407	-0.022	1.000	-0.786	0.045	0.637	-0.696	-0.043	0.698	-0.135	0.022	-0.240	
16	0.499	-0.015	-0.599	-0.373	-0.010	0.299	-0.028	-0.002	-0.214	0.011	0.220	0.614	-0.250	-0.025	0.437	-0.615	0.028	-0.862	0.657	-0.031	-0.415	1.000	-0.062	-0.948	0.344	0.022	-0.340	0.041	-0.008	0.081	
17	0.617	-0.019	-0.692	-0.234	-0.006	0.153	-0.166	-0.008	-0.277	0.014	0.433	-0.141	0.297	0.022	-0.672	-0.582	0.025	-0.415	-1.000	0.053	-0.115	-0.720	0.046	0.659	-0.142	-0.010	0.137	-0.012	0.003	-0.025	
18	0.754	-0.023	-0.797	0.079	0.003	-0.114	-0.196	-0.009	-0.016	0.001	0.318	-0.731	0.373	0.035	-0.576	1.000	-0.046	1.000	0.632	-0.036	0.198	0.322	-0.021	-0.277	0.042	0.003	-0.039	0.003	-0.001	0.006	
19	0.890	-0.027	-0.903	0.497	0.015	-0.473	-0.013	0.002	0.348	-0.017	-0.245	0.210	-0.452	-0.032	0.626	-0.454	0.021	-0.473	-0.202	0.012	-0.077	-0.088	0.006	0.072	-0.009	-0.001	0.008	0.000	0.000	-0.001	
20	1.000	-0.030	-1.000	1.000	0.028	-1.000	1.000	0.040	-1.000	0.042	-1.000	0.897	1.000	0.048	-1.000	0.346	-0.016	0.363	0.104	-0.006	0.045	0.039	-0.003	-0.030	0.003	0.000	-0.003	0.000	0.000	0.000	
21	0.000	0.000	0.012	-0.001	0.000	-0.019	0.001	0.000	0.002	0.000	0.036	0.002	0.009	0.000	0.085	-0.014	0.000	0.115	0.018	0.000	-0.072	-0.038	0.002	-0.184	0.033	-0.001	0.261	-0.030	0.001	0.274	
22	0.002	0.000	0.044	-0.003	0.000	-0.064	0.002	0.000	0.006	0.001	0.110	0.005	0.024	-0.001	0.205	-0.028	-0.001	0.210	0.025	-0.001	-0.089	-0.037	0.003	-0.099	0.002	0.001	-0.064	0.027	0.002	-0.255	
23	0.003	0.001	0.088	-0.006	0.001	-0.118	0.004	0.000	0.008	0.001	0.163	0.009	0.027	0.000	0.181	-0.014	0.001	0.041	-0.010	-0.002	0.061	0.043	-0.001	0.258	-0.036	-0.001	-0.194	-0.031	-0.006	0.289	
24	0.006	0.002	0.141	-0.009	0.001	-0.164	0.004	0.000	0.008	0.001	0.154	0.013	0.008	0.001	-0.015	0.023	0.001	-0.222	-0.033	0.001	0.134	0.039	-0.004	0.035	0.033	-0.001	0.289	0.018	0.006	-0.170	
25	0.009	0.002	0.199	-0.011	0.001	-0.188	0.003	0.000	0.002	0.000	0.064	0.009	-0.020	0.002	-0.237	0.030	0.000	-0.187	0.010	0.003	-0.075	-0.054	0.001	-0.325	-0.013	0.002	-0.210	-0.008	-0.004	0.075	
26	0.013	0.002	0.264	-0.011	0.001	-0.167	-0.001	0.000	-0.006	-0.001	-0.090	-0.001	-0.012	-0.029	0.000	-0.200	-0.018	-0.002	0.226	0.030	-0.001	-0.141	0.006	0.004	0.363	0.001	-0.002	0.103	0.003	0.001	-0.025
27	0.016	0.003	0.326	-0.007	0.000	-0.091	-0.004	0.000	-0.009	-0.001	-0.194	-0.032	-0.004	-0.001	0.125	-0.028	0.000	0.200	-0.033	-0.003	0.211	0.024	-0.005	-0.234	0.002	0.001	-0.042	-0.001	-0.001	0.008	
28	0.020	0.003	0.397	0.002	-0.001	0.066	-0.004	0.000	-0.002	-0.001	-0.121	-0.007	0.027	-0.001	0.280	0.031	0.002	-0.347	0.016	0.003	-0.131	-0.020	0.003	0.094	-0.001	0.000	0.012	0.000	0.000	-0.002	
29	0.024	0.004	0.464	0.013	-0.002	0.261	0.002	0.000	0.010	0.001	0.140	0.052	0.006	0.002	-0.192	-0.008	-0.001	0.141	-0.003	-0.001	0.039	0.007	-0.001	-0.023	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.000	0.000	
30	0.030	0.004	0.509	0.041	-0.003	0.424	0.085	-0.001	-0.151	0.006	0.865	-1.000	-0.453	-0.013	0.635	-0.050	0.003	-0.206	-0.012	0.001	-0.034	-0.010	0.001	0.016	-0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	

Elaboración propia: Lao (2014)

Tabla 7. Período fundamental de la estructura

MODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ω_n	2.30	2.60	3.14	5.74	6.37	7.99	9.81	10.49	12.43	13.48	14.58
T	2.735	2.416	2.004	1.094	0.986	0.787	0.641	0.599	0.506	0.466	0.431

Elaboración propia: Lao (2014)

Tabla 8. Desplazamientos en la dirección U1 de los nudos de control 5, 75, 90 del pórtico PX2

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
5	TH LLOLLEO	NonModHist	Max	6.74	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00
5	TH LLOLLEO	NonModHist	Min	-6.32	0.00	-0.08	0.00	-0.01	0.00
75	TH LLOLLEO	NonModHist	Max	41.98	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00
75	TH LLOLLEO	NonModHist	Min	-37.56	0.00	-0.05	0.00	-0.04	0.00
90	TH LLOLLEO	NonModHist	Max	10.43	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00
90	TH LLOLLEO	NonModHist	Min	-9.71	0.00	-0.09	0.00	-0.01	0.00

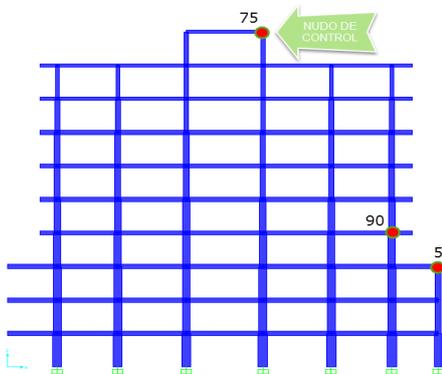
Elaboración propia: Lao (2014)

En el cuadro podemos observar que los dos primeros modos de vibración obedecen a los períodos en sentido X y en sentido Y obtenidos anteriormente por el método estático (ver Tabla 2), debemos recalcar que el método matricial es más exacto que el método citado anteriormente.

Análisis no lineal Tiempo-Historia

Cuando se somete una edificación a movimientos del terreno debido a sismos, experimenta desplazamientos laterales y consecuentemente deformaciones en sus elementos. Para respuestas de pequeña amplitud, las deformaciones en los elementos permanecen en el rango elástico y prácticamente no ocurren daños, mientras que para respuestas de mayor amplitud, las deformaciones de los elementos exceden su capacidad elástica y la edificación experimenta daños. En este caso, la mejor estimación de la respuesta global de la estructura y de la demanda en sus componentes individuales, se obtiene recurriendo a sofisticados procedimientos de análisis no lineal en el tiempo, cuyos resultados tienden a ser altamente sensibles a pequeños cambios del comportamiento de sus componentes y a las características del movimiento empleado. De hecho,

Figura 3. Nudos de control del pórtico crítico PX2



Elaboración propia: Lao (2014)

un análisis dinámico no lineal conduce a diferentes estimaciones del desplazamiento máximo, para diferentes registros cubiertos por un mismo espectro

de respuesta. Esta situación, ha propiciado el desarrollo de procedimientos simples, pero robustos, que permiten estimar los valores medios de la fuerza y el desplazamiento.

Para este análisis recurrimos a una base de registros de terremotos reales suscitados en Latino América, para el análisis se ha solicitado el registro perteneciente a la zona de Llo Lleo – Chile. Este registro tiene una duración de 116.38 segundos y presenta un PGA (PG acceleration) igual a 0.65g es la aceleración máxima del suelo que se produjo cuando actuaba el sismo.

El análisis historia en el tiempo obedece al pórtico crítico PX2 de la estructura en estudio, se han designado nudos de control en el pórtico para poder estudiar su desplazamiento en los picos más altos del registro de aceleraciones (ver Figura 3).

La Tabla 8 muestra los desplazamientos máximos de los nudos de control (5, 75, 90) del pórtico PX2 de la estructura en los picos más altos del acelerograma. Por ejemplo en el nudo de control 75 tiene un desplazamiento máximo de techo de 41.98 cm, los demás resultados se muestra en la tabla siguiente:

Análisis Estático No Lineal (Push-over)

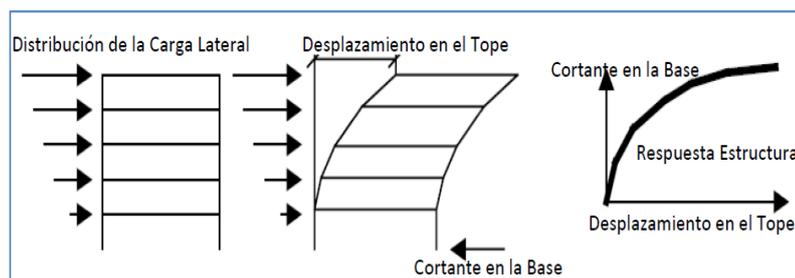
El análisis estático no lineal o push-over consiste en aplicar una distribución vertical de carga lateral a la estructura la cual debe incrementarse monotónicamente hasta que la estructura alcance su máximo desplazamiento, mediante la gráfica del cortante en la base y el desplazamiento en el tope de la estructura como se muestra en la figura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diferentes tipos de resultados pueden ser obtenidos a partir de un análisis plus-over, entre los que se destacan fundamentalmente la curva de capacidad, el espectro de capacidad, así como la evolución de cada punto de plastificación.

Una vez definida la curva de capacidad y los desplazamientos de demanda, se puede verificar los puntos

Figura 4. Análisis estático no lineal (Push-over)



Elaboración propia: Lao (2014)

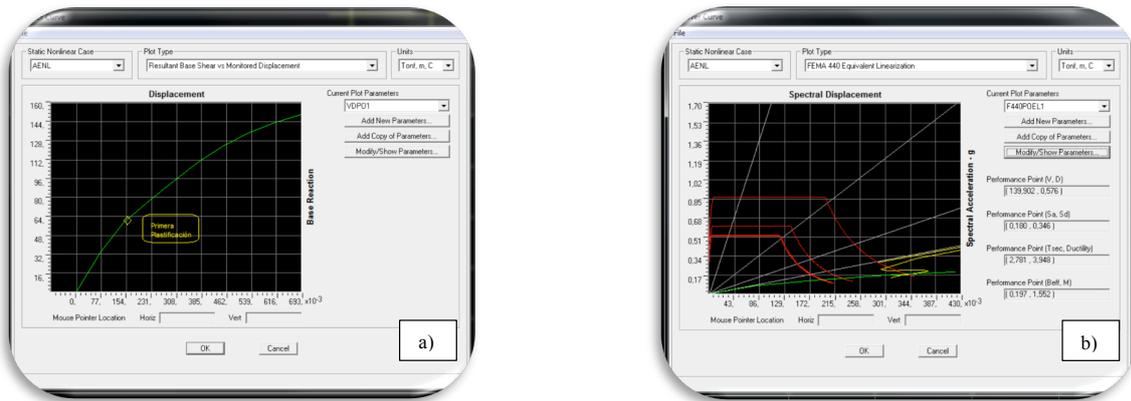
de desempeño o punto de respuesta máxima en la estructura como se muestra en las 0b para el pórtico crítico X2 respectivamente. La 0a, muestra gráficamente la curva de capacidad del pórtico crítico X2, que mantiene su linealidad hasta alcanzar un desplazamiento en el tope de la edificación de 0,144 m. A partir de este punto (step 3), se inicia una secuencia de plastificaciones en los diferentes elementos estructurales (vigas, columnas y tabiquerías), cuya evolución se resume en la 0, donde se aprecia, para un desplazamiento de 0,698 m (step 11), que sobre un total de 246 puntos de plastificación pertenecientes al pórtico mostrado, 65% se mantienen en el rango elástico (A-B), 13,4% supera el punto de cedencia, manteniéndose por debajo del límite de desempeño asociado a inmediata ocupación (B-IO), 14,4% está entre los límites de inmediata

ocupación y seguridad vital (IO-LS) y 7,2% superó el límite de estabilidad estructural y de prevención del colapso (>CP).

CONCLUSIONES

1. Una vez realizado el análisis estático no lineal (push-over) del edificio Palacio Municipal se concluye lo siguiente:
2. Para un desplazamiento meta de 70 cm obtenido del análisis tiempo-historia (no lineal), aplicado al pórtico X2, la edificación se encuentra bajo el límite de desempeño asociado a inmediata ocupación (B-IO) con el 65% de sus elementos estructurales incursionando en el rango elástico, y para el 35% restante se tendrá que hacer los debidos reforzamientos.

Figura 5. Muestra la curva de capacidad (a) y el punto de desempeño del pórtico PX2 (b)



Elaboración propia: Lao (2014)

Tabla 9. Curva de capacidad asociada al pórtico X2

Step	Displacement m	BaseForce Tonf	AtoB	BtoD	IDtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	-0,001278	0,0000	234	8	2	0	0	0	0	2	246
1	0,002212	1,6524	233	9	2	0	0	0	0	2	246
2	0,072277	33,0964	229	10	5	0	0	0	0	2	246
3	0,144064	58,8047	209	29	5	0	0	1	0	2	246
4	0,226454	78,1959	199	35	6	3	0	1	0	2	246
5	0,299243	93,9278	196	28	15	2	0	3	0	2	246
6	0,380849	111,0007	191	22	22	4	0	5	0	2	246
7	0,451889	123,5347	187	24	22	2	0	9	0	2	246
8	0,531596	135,0628	175	31	18	7	0	13	0	2	246
9	0,612823	143,8944	166	36	17	5	0	20	0	2	246
10	0,690868	150,0586	161	32	21	7	0	23	0	2	246
11	0,698722	150,6256	160	33	21	6	0	24	0	2	246

Elaboración propia: Lao (2014)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCE 7-10. (2010). Minimum Design Loads for Buildings and other Structures. American Society of Civil Engineers.
- ATC-40. (2006). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol 1, 2. Applied Technology Council. California. USA.
- Bazán, E. & Meli, R. (1985). Análisis y Diseño Sísmico de Edificios.
- CEC-2000. (2000). “Código Ecuatoriano de la Construcción”.
- CEC-77. (1977). “Código Ecuatoriano de la Construcción”.
- FEMA-440. (2010) Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. American Society of Civil Engineers.
- NEC-11. (2011). “Norma Ecuatoriana de la Construcción”.
- Rebolledo, E. (2010). Análisis y Diseño Sísmico de Edificios de Hormigón y Acero.
- Rochel, R. (2006). Análisis y Diseño Sísmico de Edificios.