

**APÉNDICE Nº 9. MEDICIONES DEL NIVEL FREÁTICO**



Coordenadas UTM y niveles de agua de sondeos

SONDEO	Prof. (m)	Nivel de agua adoptado a 10/04/2012 (m)	Nivel de agua medido por la oficina de Metro Madrid en Quito			Coordenadas UTM		
			Profundidad (m)	Fecha de lectura	Observaciones	X (m)	Y (m)	Z (m)
SMQ-1	30	3,95	3,90	23/05/2012		493.719	9.967.187	2.922,2
SMQ-2	30	4,84	4,50	23/05/2012		493.918	9.967.342	2.915,0
SMQ-3	20	9,34	9,37	23/05/2012		494.193	9.967.669	2.904,0
SMQ-4	30	10,50	10,80	23/05/2012		494.378	9.967.901	2.898,8
SMQ-5	30	11,50	13,40	23/05/2012		494.468	9.968.351	2.895,1
SMQ-6	40	5,80	-	23/05/2012	Acceso cerrado	494.586	9.968.889	2.876,4
SMQ-7	40	6,56	4,45	23/05/2012		494.625	9.969.011	2.873,0
SMQ-8	25	0,61	0,35	23/05/2012		494.703	9.969.153	2.865,0
SMQ-9	30	1,75	1,84	23/05/2012		495.092	9.969.633	2.855,4
SMQ-10	40	0,25	0,25	23/05/2012		495.345	9.969.932	2.849,2
SMQ-11	40	7,60	5,40	23/05/2012		495.599	9.970.252	2.852,6
SMQ-12	45	8,50	5,75	23/05/2012		495.933	9.970.484	2.844,4
SMQ-13	45	15,80	8,90	23/05/2012		496.036	9.970.590	2.843,7
SMQ-14	25	12,16	-	23/05/2012	llocalizable	496.187	9.970.911	2.826,0
SMQ-15	30	10,00	5,25	23/05/2012		496.113	9.971.028	2.835,2
SMQ-16	45	0,12	0,11	23/05/2012		496.135	9.971.282	2.832,0
SMQ-17	45	3,84	3,70	23/05/2012		496.318	9.971.560	2.827,0
SMQ-18	40	10,00	5,80	23/05/2012		496.803	9.971.731	2.818,6
SMQ-18B	30	5,22	5,05	23/05/2012		497.150	9.971.692	2.807,0
SMQ-19	35	2,67	2,85	23/05/2012		497.333	9.971.746	2.804,6
SMQ-20	50	4,80	5,10	23/05/2012		497.678	9.972.098	2.820,4
SMQ-21	50	3,00	2,35	23/05/2012		497.702	9.972.149	2.821,2
SMQ-22	40	3,50	3,85	23/05/2012		497.882	9.972.548	2.821,1
SMQ-23	30	16,61	16,70	23/05/2012		497.816	9.973.104	2.813,0
SMQ-24	30	17,52	19,10	23/05/2012		497.479	9.973.398	2.802,6
SMQ-25	45	5,89	4,50	23/05/2012		497.359	9.973.524	2.808,3
SMQ-26	45	5,50	6,55	23/05/2012		497.147	9.973.636	2.817,4
SMQ-27	45	11,00	8,80	24/05/2012		497.050	9.973.915	2.839,0
SMQ-28	85	SECO	-	24/05/2012	A 33,50 m se encuentra colmatado, sin haber detectado agua	497.003	9.974.185	2.884,2
SMQ-29	40	24,54	25,20	24/05/2012		497.269	9.974.628	2.847,1
SMQ-30	70	11,80	53,75	24/05/2012		497.547	9.974.818	2.888,0
SMQ-31	80	8,75	-	24/05/2012	A 56 m se encuentra colmatado, sin haber detectado agua	497.755	9.975.052	2.873,7
SMQ-31B	40		30,40	24/05/2012		497.937	9.975.148	2.850,9
SMQ-32	35	21,22	-	24/05/2012	llocalizable	498.153	9.975.346	2.825,4
SMQ-33	40	30,81	12,60	24/05/2012		498.367	9.975.460	2.822,2
SMQ-34	50	14,05	15,05	24/05/2012		498.352	9.975.634	2.825,8
SMQ-35	40	13,12	6,25	24/05/2012		499.023	9.975.790	2.799,6



Coordenadas UTM y niveles de agua de sondeos

SONDEO	Prof. (m)	Nivel de agua adoptado a 10/04/2012 (m)	Nivel de agua medido por la oficina de Metro Madrid en Quito			Coordenadas UTM		
			Profundidad (m)	Fecha de lectura	Observaciones	X (m)	Y (m)	Z (m)
SMQ-36			-	24/05/2012	llocalizable	499.185	9.976.068	2.827,7
SMQ-37	45	29,70	15,00	24/05/2012		499.428	9.975.795	2.811,6
SMQ-38	45	16,45	25,20	24/05/2012		499.749	9.976.184	2.816,0
SMQ-39	35	17,20	16,05	24/05/2012		499.855	9.976.229	2.817,4
SMQ-40	35	15,60	15,00	24/05/2012		500.410	9.976.580	2.798,5
SMQ-41	45	17,80	10,80	24/05/2012		500.253	9.976.774	2.793,4
SMQ-42	45	21,28	13,80	24/05/2012		500.299	9.976.955	2.793,1
SMQ-43	35	23,00	18,15	24/05/2012		499.949	9.977.476	2.799,5
SMQ-44	50	31,59	34,15	24/05/2012		499.896	9.977.906	2.807,1
SMQ-45	50	41,17	-	24/05/2012	llocalizable	499.966	9.978.002	2.808,0
SMQ-46	40	24,50	SECO	24/05/2012		500.015	9.978.299	2.813,6
SMQ-47	30	10,90	19,75	24/05/2012		500.445	9.978.445	2.797,0
SMQ-48	45	15,54	15,50	24/05/2012		500.759	9.978.502	2.785,6
SMQ-49	4.2 (sin term)	SECO	-	-		500.796	9.978.516	2.785,4
SMQ-49A	45	7,75	9,70	24/05/2012		500.807	9.978.603	2.785,0
SMQ-50	35	10,15	10,30	24/05/2012		501.208	9.978.669	2.777,1
SMQ-51	45	7,02	6,75	25/05/2012		501.580	9.978.944	2.771,9
SMQ-52	45	9,17	9,00	25/05/2012		501.742	9.979.028	2.770,9
SMQ-53	30	11,47	10,35	25/05/2012		501.758	9.979.475	2.774,9
SMQ-54	30	13,60	14,00	25/05/2012		501.799	9.979.902	2.778,6
SMQ-55	45	14,09	14,35	25/05/2012		501.830	9.980.426	2.780,5
SMQ-56	45	13,41	12,95	25/05/2012		501.822	9.980.459	2.780,2
SMQ-57	35	9,90	-	25/05/2012	llocalizable (posiblemente cubierto)	501.847	9.980.517	2.778,3
SMQ-58	45	9,21	8,85	25/05/2012		501.941	9.981.103	2.778,4
SMQ-59	45	13,91	13,90	25/05/2012		501.719	9.981.984	2.784,0
SMQ-60	45	9,68	8,80	25/05/2012		501.835	9.981.670	2.780,1
SMQ-61	30	6,80	4,20	25/05/2012		501.945	9.982.147	2.783,9
SMQ-62	45	27,22	23,10	25/05/2012		501.368	9.982.797	2.796,6
SMQ-63	50	21,79	18,50	25/05/2012		501.667	9.982.671	2.791,7
SMQ-64	30	5,10	7,70	25/05/2012		494.344	9.967.810	2.898,3
SMQ-65	25	2,18	1,85	23/05/2012		493.493	9.966.958	2.931,3
SMQ-66	25	3,13	2,20	23/05/2012		493.625	9.966.845	2.931,5
SMQ-67	30	2,30	2,15	23/05/2012		493.688	9.966.793	2.931,7
SMQ-68	30	1,21	1,00	23/05/2012		493.747	9.966.980	2.923,7
SMQ-69	30	2,73	2,55	23/05/2012		493.854	9.967.014	2.922,2

NIVELES FREATICOS

SONDEO	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPER. °C	HORA	FECHA
SMQ-1	3,98	17,00	13:46	10/03/2012
SMQ-3	9,32	17,00	13:57	10/03/2012
SMQ-5	13,83	17,00	14:06	10/03/2012
SMQ-6	5,82	17,00	14:24	10/03/2012
SMQ-7	6,72	18,00	14:36	10/03/2012
SMQ-9	1,93	17,00	8:15	11/03/2012
SMQ-10	0,35	19,00	8:21	11/03/2012
SMQ-11	8,07	18,00	8:30	11/03/2012
SMQ-12	8,70	17,00	8:49	11/03/2012
SMQ-13	15,70	17,00	8:58	11/03/2012
SMQ-15	12,64	18,00	9:10	11/03/2012
SMQ-17	3,82	19,00	9:18	11/03/2012
SMQ-18	11,54	17,00	9:33	11/03/2012
SMQ-18B	5,36	18,00	9::48	11/03/2012
SMQ-21	3,18	17,00	10:00	11/03/2012
SMQ-22	3,13	18,00	10:08	11/03/2012
SMQ-23	16,57	19,50	10:16	11/03/2012
SMQ-25	5,93	19,50	10:23	11/03/2012
SMQ-26	10,35	18,50	10:31	11/03/2012
SMQ-27	26,63	17,00	10:50	11/03/2012
SMQ-28	seco			
SMQ-31	seco			
SMQ-31B				
SMQ-34	26,99	17,00	9:55	11/03/2012
SMQ-35				
SMQ-37	29,56	17,00	11:25	10/03/2012

SONDEO	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPER. °C	HORA	FECHA
SMQ-39	17,95	18,00	11:40	10/03/2012
SMQ-40	24,59	18,50	11:55	11/03/2012
SMQ-42	21,45	18,50	12:21	11/03/2012
SMQ-43	25,00	17,00	12:20	10/03/2012
SMQ-44	33,54	17,50	10:17	10/03/2012
SMQ-46	39,55	18,00	12:04	11/03/2012
SMQ-47	25,66	17,00	12:12	11/03/2012
SMQ-48	15,54	18,00	10:38	10/03/2012
SMQ-49A	15,32	18,50	10:59	10/03/2012
SMQ-50	9,62	18,00	10:57	10/03/2012
SMQ-51	6,95	19,00	12:43	11/03/2012
SMQ-53	11,36	18,00	12:55	11/03/2012
SMQ-54	14,38	18,00	13:08	11/03/2012
SMQ-56	13,07	18,50	13:26	11/03/2012
SMQ-58	14,23	19,50	13:40	11/03/2012
SMQ-60	9,90	19,50	13:53	11/03/2012
SMQ-61	13,85	19,00	13:58	10/03/2012
SMQ-63	21,79	18,00	14:14	10/03/2012
SMQ-64	7,78	17,00	13:02	10/03/2012
SMQ-65	2,11	17,00	13:35	10/03/2012
SMQ-66	3,08	16,00	13:08	10/03/2012
SMQ-67	2,30	16,00	13:13	07/02/2012
SMQ-68	1,19	16,00	13:18	10/03/2012
SMQ-69	2,70	14,50	13:23	10/03/2012

**REGISTRO DIARIO DE NIVELES DE AGUA**

FECHA	HORA	PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUA (m) EN LOS SONDEOS								CLIMA	
		SS - 1	SS - 2	SS - 3	SS - 4	SS - 5	SS - 6	SC - 7	SC - 8		
		SMQ-2	SMQ-4	SMQ-8	SMQ-14	SMQ-16	SMQ-19	SMQ-20	SMQ-24		
02/06/2011	7:45 - 7:30	6.98	10.50								SOLEADO
03/06/2011	8:00 - 8:53	6.88	10.45	0.50							NUBLADO
04/06/2011	8:45 - 13:30	6.98	10.51	0.51							NUBLADO
05/06/2011	8:10 - 8:42	6.91	10.54	0.51							NUBLADO
06/06/2011	8:10 - 8:50	6.88	10.43	0.48							SOLEADO
07/06/2011	10:10 - 10:57	7.00	10.53	0.47							SOLEADO
08/06/2011	8:50 - 9:35	7.11	10.70	0.47	12.15	0.65					SOLEADO
09/06/2011	8:23 - 8:55	7.10	10.58	0.47	12.10	0.70					SOLEADO
10/06/2011	7:20 - 7:53	7.60	10.58	0.47	12.07	0.65					SOLEADO
11/06/2011	7:28 - 8:22	7.07	10.58	0.48	12.09	0.64					SOLEADO
12/06/2011	7:25 - 8:18	7.01	10.40	0.44	11.93	0.56			17.00		SOLEADO
13/06/2011											
14/06/2011	7:35 - 9:00	7.06	10.47	0.44	11.94	0.57			17.20		NUBLADO
15/06/2011	7:20 - 9:45	7.05	10.66	0.47	12.08	0.58	3.72	5.50	17.47		SOLEADO
16/06/2011	8:57 - 10:40	7.04	10.59	0.47	12.05	0.58	3.95	5.57	17.45		SOLEADO
17/06/2011	8:25 - 9:41	7.06	10.59	0.48	12.10	0.58	3.89	5.58	17.44		SOLEADO
18/06/2011	8:55 - 10:04	7.05	10.58	0.51	12.06	0.58	3.90	5.58	17.51		SOLEADO
19/06/2011											
20/06/2011	8:15 - 10:45	7.10	10.69	0.47	12.21	0.58	3.46	5.56	17.46		SOLEADO
21/06/2011	8:15 - 10:00	6.98	10.55	0.54	12.14	0.64	3.60	5.53	17.50		NUBLADO
22/06/2011	7:45 - 9:35	6.98	10.56	0.56	12.16	0.66	3.77	5.54	17.45		SOLEADO
23/06/2011	8:10 - 9:38	6.95	10.69	0.54	12.24	0.59	3.90	5.65	17.69		SOLEADO
24/06/2011	8:15 - 9:30	7.00	10.45	0.59	12.10	0.64	4.04	5.47	17.40		NUBLADO
25/06/2011	7:00 - 9:18	6.99	10.56	0.59	12.17	0.64	4.04	5.49	17.39		SOLEADO
26/06/2011	7:10 - 9:00	6.98	10.50	0.56	12.10	0.64	3.89	5.47	17.44		SOLEADO
27/06/2011	7:10 - 10:00	6.97	10.46	0.58	12.10	0.62	3.53	5.48	17.43		SOLEADO
28/06/2011	7:40 - 10:10	6.97	10.51	0.58	12.16	0.62	3.62	5.50	17.35		SOLEADO
29/06/2011											
30/06/2011											
01/07/2011	8:30 - 11:55	6.98	10.57	0.59	12.27	0.64	3.98	5.46	17.38		SOLEADO
02/07/2011	7:30 - 10:50	6.99	10.53	0.60	12.17	0.62	4.12	5.45	17.45		NUBLADO
03/07/2011	6:35 - 10:30	6.99	10.52	0.60	12.22	0.62	3.84	5.46	17.35		SOLEADO
04/07/2011	7:05 - 10:15	6.98	10.53	0.60	12.21	0.62	3.52	5.43	17.44		SOLEADO
05/07/2011	8:15 - 11:22	6.98	10.49	0.58	12.12	0.60	3.65	5.46	17.42		SOLEADO
06/07/2011	9:05 - 12:10	7.00	10.52	0.59	12.14	0.60	3.81	5.48	17.42		SOLEADO
07/07/2011	7:00 - 10:10	7.00	10.51	0.60	12.13	0.59	3.86	5.48	17.42		SOLEADO
08/07/2011	7:00 - 10:50	6.99	10.52	0.58	12.23	0.60	4.10	5.49	17.44		SOLEADO
09/07/2011	7:35 - 10:50	7.02	10.50	0.61	12.20	0.61	3.98	5.50	17.45		SOLEADO
10/07/2011	8:05 - 10:53	7.01	10.50	0.61	12.22	0.60	3.98	5.51	17.45		SOLEADO
11/07/2011	7:15 - 13:19	7.01	10.50	0.61	12.20	0.61	3.99	5.50	17.45		SOLEADO
12/07/2011	7:35 - 10:57	7.01	10.50	0.61	12.16	0.60	3.54	5.50	17.52		NUBLADO

NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A			
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10,22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A			
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10,22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A			
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10,22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A			
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10,22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A			
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10,22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

7 DE FEBRERO DEL 2012

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA	
SMQ-1	3,99	17	9:44	02/03/2012
SMQ-3	9,36	16,00	11:06	
SMQ-6	9,52	16,50	11:15	
SMQ-7	7,23	17,50	9:00	
SMQ-9	1,90	17,50	10:10	29/02/2012
SMQ-10	0,36	19,00	10:03	29/02/2012
SMQ-12	8,95	17,00	11:33	
SMQ-13	15,80	17,00	11:34	
SMQ-15	seco			
SMQ-17	3,84	19,00	12:00	
SMQ-18	27,50	18,50	7:10	
SMQ-18B	5,47	18,00	9:45	29/02/2012
SMQ-21	3,00	17,00	12:15	
SMQ-23	16,61	19,00	12:25	
SMQ-25		con bentonita		
SMQ-26		con bentonita		
SMQ-28	seco			
SMQ-31		con bentonita		
SMQ-34		con bentonita		
SMQ-39	seco		10:58	02/03/2012
SMQ-40	24,59	18,50	13:48	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30	
SMQ-43	23,46	17,50	12,13	
SMQ-44	35,00	18,00	7:06	
SMQ-46	sin	agua	11:07	29/02/2012
SMQ-47	25,86	18,00	11:10	
SMQ-48	15,54	18,00	7:50	
SMQ-49A				
SMQ-50	9,72	18,00	11:22	02/03/2012
SMQ-51	7,02	19,00	8:15	
SMQ-53	11,47	18,00	11:28	29/02/2012
SMQ-56	13,41	18,00	13:17	
SMQ-60	9,68	19,00	13:34	
SMQ-63		con bentonita		
SMQ-65	2,18	17,5	10:58	
SMQ-66	3,13	16,5	10:49	
SMQ-67	2,30	16,00	10:15	
SMQ-68	1,21	15,50	10:35	
SMQ-69	2,73	14,50	10,22	
SMQ-61	13,41	18,00	7:15	28/02/2012
SMQ-54	14,47	18,00	7:39	
SMQ-37	29,65	16,50	8:20	
SMQ-11	8,03	18,00	9:04	
SMQ-5	13,69	17,00	9:42	
SMQ-64	7,79	16,00	9:24	

MONITOREADO POR: Bismarck Dávila

**REGISTRO DIARIO DE NIVELES DE AGUA**

FECHA	HORA	PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUA (m) EN LOS SONDEOS						CLIMA
		SN-14	SN-15	SN-16	SN-17	SN-20	SMQ-62	
		SMQ-52	SMQ-55	SMQ-57	SMQ-59			
02/06/2011	7:45 - 7:30							SOLEADO
03/06/2011	8:00 - 8:53							NUBLADO
04/06/2011	8:45 - 13:30							NUBLADO
05/06/2011	8:10 - 8:42							NUBLADO
06/06/2011	8:10 - 8:50							SOLEADO
07/06/2011	10:10 - 10:57							SOLEADO
08/06/2011	8:50 - 9:35							SOLEADO
09/06/2011	8:23 - 8:55							SOLEADO
10/06/2011	7:20 - 7:53							SOLEADO
11/06/2011	7:28 - 8:22							SOLEADO
12/06/2011	7:25 - 8:18							SOLEADO
13/06/2011								NUBLADO
14/06/2011	7:35 - 9:00							SOLEADO
15/06/2011	7:20 - 9:45							SOLEADO
16/06/2011	8:57 - 10:40							SOLEADO
17/06/2011	8:25 - 9:41							SOLEADO
18/06/2011	8:55 - 10:04							SOLEADO
19/06/2011								SOLEADO
20/06/2011	8:15 - 10:45							SOLEADO
21/06/2011	8:15 - 10:00							NUBLADO
22/06/2011	7:45 - 9:35							SOLEADO
23/06/2011	8:10 - 9:38							SOLEADO
24/06/2011	8:15 - 9:30							NUBLADO
25/06/2011	7:00 - 9:18							SOLEADO
26/06/2011	7:10 - 9:00							SOLEADO
27/06/2011	7:10 - 10:00							SOLEADO
28/06/2011	7:40 - 10:10							SOLEADO
29/06/2011								SOLEADO
30/06/2011	8:30 - 11:55		15,08					SOLEADO
01/07/2011	7:30 - 10:50		15,12		9,74			NUBLADO
02/07/2011	6:35 - 10:30		15,12		9,27			SOLEADO
03/07/2011	7:05 - 10:15		15,12		9,27	9,74		SOLEADO
04/07/2011	8:15 - 11:22		15,08		9,32	13,37		SOLEADO
05/07/2011	9:05 - 12:10		14,90		9,33	13,30	27,62	SOLEADO
06/07/2011	7:00 - 10:10	6,10	14,80		9,30	13,38	27,51	SOLEADO
07/07/2011	7:00 - 10:50	6,10	14,82		9,30	13,30	27,50	SOLEADO
08/07/2011	7:35 - 10:50	6,10	14,83		9,30	13,30	27,51	SOLEADO
09/07/2011	8:05 - 10:53	6,10	14,82		9,30	13,31	27,50	SOLEADO
10/07/2011	7:15 - 13:19	6,10	14,73		9,34	13,29	27,48	SOLEADO
11/07/2011	7:35 - 10:57	6,10	14,63		9,30	13,30	27,53	NUBLADO
12/07/2011								

**NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS**

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A			
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10,22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

## NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A			
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10:22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA m	TEMPER. °C	HORA	FECHA	SONDEO	NIVEL DE AGUA m	TEMPER. °C	HORA	FECHA
					SMQ-31	colapsado a 53,23		9:55	28/03/2012
<b>PRIMERA FASE</b>					SMQ-31B	seco		14:22	27/03/2012
SMQ-2	4,84	18,0	10:11	27/03/2012	SMQ-34	14,16	16,0	10:43	28/03/2012
SMQ-4	10,89	17,0	10:42	27/03/2012	SMQ-35	13,12	18,0	11:02	28/03/2012
SMQ-8	0,48	18,0	11:25	27/03/2012	SMQ-37	29,70	17,0	11:25	28/03/2012
SMQ-14	14,72	17,0	15:00	29/03/2012	SMQ-39	18,32	18,0	11:43	28/03/2012
SMQ-16	0,12	19,0	13:05	27/03/2012	SMQ-40	20,70	18,5	12:01	28/03/2012
SMQ-19	2,67	18,0	13:33	27/03/2012	SMQ-42	21,14	18,0	12:18	28/03/2012
SMQ-20	4,80	18,0	13:42	27/03/2012	SMQ-43	24,68	18,0	12:41	28/03/2012
SMQ-24	18,90	18,0	14:11	27/03/2012	SMQ-44	31,59	18,0	13:25	28/03/2012
SMQ-29	26,00	17,5	12:45	29/03/2012	SMQ-46	seco		13:55	28/03/2012
SMQ-30	53,90	16,0	13:30	29/03/2012	SMQ-47	25,68	18,0	14:05	28/03/2012
SMQ-32	21,22	17,0	10:08	28/03/2012	SMQ-48	15,64	18,0	8:01	29/03/2012
SMQ-33	30,81	16,0	10:25	28/03/2012	SMQ-49A	15,46	18,0	7,55	29/03/2012
SMQ-38	25,9	17,5	11:36	28/03/2012	SMQ-50	9,66	18,0	14:25	28/03/2012
SMQ-41	21,72	17,5	12:23	28/03/2012	SMQ-51	6,87	19,0	7:42	29/03/2012
SMQ-45	41,17	17,5	13:17	28/03/2012	SMQ-53	11,47	18,0	7:28	29/03/2012
SMQ-52	9,17	18,5	7:35	29/03/2012	SMQ-54	14,40	18,0	7:18	29/03/2012
SMQ-55	14,09	18,0	7:10	29/03/2012	SMQ-56	13,00	18,0	7:07	29/03/2012
SMQ-57	9,90	18,0	8:22	29/03/2012	SMQ-58	9,21	19,5	8:35	29/03/2012
SMQ-59	13,91	19,0	9:26	29/03/2012	SMQ-60	9,87	19,5	9:15	29/03/2012
SMQ-62	27,22	18,5	9:49	29/03/2012	SMQ-61	13,98	18,5	9:06	29/03/2012
					SMQ-63	21,79	18,5	9:35	29/03/2012
<b>SEGUNDA FASE</b>					SMQ-64	7,82	17,0	10:36	27/03/2012
SMQ-1	3,95	17,0	9:56	27/03/2012	SMQ-65	2,07	16,5	9:44	27/03/2012
SMQ-3	9,34	16,0	10:20	27/03/2012	SMQ-66	3,03	16,0	9:34	27/03/2012
SMQ-5	13,84	17,0	10:50	27/03/2012	SMQ-67	tapado		9:32	27/03/2012
SMQ-6	5,80	17,0	11:05	27/03/2012	SMQ-68	1,14	16,0	9:25	27/03/2012
SMQ-7	6,56	18,0	11:17	27/03/2012	SMQ-69	2,64	15,0	9:19	27/03/2012
SMQ-9	1,75	17,0	11:32	27/03/2012					
SMQ-10	0,25	19,0	11:37	27/03/2012					
SMQ-11	7,99	18,0	11:46	27/03/2012					
SMQ-12	8,50	17,0	11:57	27/03/2012					
SMQ-13	15,73	18,0	12:06	27/03/2012					
SMQ-15	12,64	18,0	12:51	27/03/2012	En el <b>SMQ-28</b> y el <b>SMQ-31</b> no se colocaron piezómetros por no tener nivel de agua				
SMQ-17	3,78	19,0	13:11	27/03/2012	El <b>SMQ-67</b> está cubierto con material petreo y para activarlo se requerira de maquinaria				
SMQ-18	11,48	18,5	13:19	27/03/2012					
SMQ-18B	5,22	18,0	13:27	27/03/2012					
SMQ-21	3,09	18,0	13:46	27/03/2012					
SMQ-22	3,67	18,5	13:52	27/03/2012					
SMQ-23	16,57	19,0	14:02	27/03/2012					
SMQ-25	5,89	19,5	9:05	28/03/2012					
SMQ-26	10,31	18,0	9:10	28/03/2012					
SMQ-27	28,52	16,5	9:20	28/03/2012					
SMQ-28	colapsado a 36,07		9:33	28/03/2012					

NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A	12,52	19,00	12:18
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10,22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURAS

SONDEO N°	NIVEL DE AGUA (m)	TEMPERAT. °C	HORA
SMQ-3	9,36	16,00	11:06
SMQ-6	9,52	16,50	11:15
SMQ-12	8,95	17,00	11:33
SMQ-13	15,80	17,00	11:34
SMQ-17	3,84	19,00	12:00
SMQ-18	27,50	18,50	7:10
SMQ-21	3,00	17,00	12:15
SMQ-23	16,61	19,00	12:25
SMQ-25		con bentonita	
SMQ-26		con bentonita	
SMQ-28	seco		
SMQ-31		con bentonita	
SMQ-34		con bentonita	
SMQ-42	21,28	18,00	7:30
SMQ-44	35,00	18,00	7:06
SMQ-48	15,54	18,00	7:50
SMQ-49A			
SMQ-51	7,02	19,00	8:15
SMQ-56	13,41	18,00	13:17
SMQ-60	9,68	19,00	13:34
SMQ-63		con bentonita	
SMQ-65	2,18	17,5	10:58
SMQ-66	3,13	16,5	10:49
SMQ-67	2,30	16,00	10:15
SMQ-68	1,21	15,50	10:35
SMQ-69	2,73	14,50	10,22

Monitoreado por : Bismarck Dávila

**APÉNDICE Nº 10. SÍSMICA PASIVA Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES NATURALES**

# ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE RUTA CON MÉTODOS GEOFISICOS NO INVASIVOS PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO

UNIDAD DE NEGOCIOS METRO QUITO (UNMQ)

CLCC-UNMQ-2011-009

Segundo Producto

REFRACCIÓN POR MICRO TREMORES – REMI – SÍSMICA PASIVA

Producto2\_ReMi-F1.1

**CONSORCIO GRIFFMETAL-TRX Consulting C.A.**

Quito, Diciembre 23 de 2011

## LISTA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO</b> .....	<b>5</b>
2.1 Objetivo .....	5
2.2 Métodos Aplicados.....	5
2.3 Ubicación del Proyecto .....	5
2.4 Normas y Procedimientos de Referencia .....	5
2.5 Fecha Adquisición Datos .....	5
2.6 Personal Técnico .....	5
2.7 Instrumentación .....	6
2.8 Parámetros de Adquisición.....	6
<b>3. SINTESIS RESULTADOS ANALISIS DE VIBRACION NATURALES</b> .....	<b>9</b>
<b>4. ANALISIS SISMICO de REFRACCION por MICRO TREMORES</b> .....	<b>12</b>
4.1 Ejecución, Ubicación Medidas y Adquisición de Datos.....	12
4.2 Procesamiento Datos. ....	13
4.3 Representación Datos. ....	16
4.4 Análisis de los Resultados. ....	21
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>44</b>
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	<b>49</b>
<b>7. DECLARACIÓN DE CALIFICACIÓN</b> .....	<b>50</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación general de la zona de estudio.....	7
Figura 2: Ubicación geo-referenciada de la zona de estudio. ....	8
Figura 3: Perfil topográfico y período fundamental en función del abscisado. ....	10
Figura 4: Mapa de Iso-periodos a lo largo de la ruta de estudio. ....	11
Figura 5: Ejemplo de espectro y selección curva de dispersión.....	14
Figura 6: Tendido T5, modelo 1-12. Modelo 1D de ondas de corte Vs.....	14
Figura 7: Ejemplo de sección Tomográfica de ondas de corte Vs. Progresivas 0+000 al 0+600. ....	19
Figura 8: Ejemplo correlación entre topografía, Vs30, período fundamental derivado desde vibraciones naturales y rigidez a diferentes profundidades. Progresivas 0+000 al 0+600. ....	20
Figura 9: Correlación entre Topografía, Período fundamental Vs30 - Clasificación de suelos y G <sub>max</sub> . ....	24
Figura 10: Zona Sur. Tomografía de Ondas de corte "Vs". ....	28
Figura 11: Zona Sur. Correlación de Topografía - Tomografía Vs, Período Fundamental, Vs30 - Clasificación de suelos IBC y G <sub>max</sub> . ....	29
Figura 12: Zona Sur. Factor de Amplificación, capacidad de carga permisible y Rigidez máxima a nivel rasante.....	30
Figura 13: Zona Central. Tomografía de Ondas de corte "Vs". ....	33
Figura 14: Zona Central. Correlación de Topografía – Tomografía Vs, Período Fundamental, Vs30 - Clasificación de suelos IBC y G <sub>max</sub> . ....	34
Figura 15: Zona Central. Factor de Amplificación, capacidad carga permisible y Rigidez máxima a nivel rasante.....	35
Figura 16: Zona Norte. Tomografía de Ondas de corte "Vs". ....	38
Figura 17: Zona Norte. Correlación de Topografía - Tomografía Vs, Período Fundamental, Vs30 - Clasificación de suelos IBC, y G <sub>max</sub> . ....	39
Figura 18: Zona Norte. Factor de Amplificación, capacidad carga permisible y Rigidez máxima a nivel rasante. ....	40

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Intervalo de abscisado/progresiva de las secciones y correlaciones de datos sísmicos de caracterización de ruta. Sección tomográfica y perfiles sísmicos 1D (MQL1-SP *-a.pdf). Correlación parámetros sísmicos adicionales: (MQL1-SP *-b.pdf). ....	18
Tabla 2. Datos Downhole Fase 1 (Agosto – Septiembre 2011). Relación entre velocidades de ondas de corte en la secuencia cualitativa identificada. ....	22
Tabla 3. Zona Sur. Singularidades/Anomalías de velocidades de ondas de corte ..... 43	43
Tabla 4. Zona Central. Singularidades/Anomalías de velocidades de ondas de corte ..... 44	44
Tabla 5. Zona Norte. Singularidades/Anomalías de velocidades de ondas de corte. .... 44	44

## 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de desarrollo del proyecto para la construcción de la primera Línea de Metro en Quito, Ecuador, por solicitud de la Unidad de Negocios Metro de Quito (UNMQ), se iniciaron una serie de estudios geofísicos de caracterización de la ruta de la programada Línea 1.

Estos estudios incluyeron medidas de sísmica de refracción por micro tremores (sísmica pasiva) y monitoreo de vibraciones naturales, estudios que han sido programados a fin de optimizar la fase de diseño e ingeniería de detalle.

Las medidas sísmicas de refracción por micro tremores – ReMi fueron programadas para complementar las medidas de sísmica en perforación tipo downhole, en la caracterización sismo-estratigráfica de toda la ruta, la definición del comportamiento de las ondas de corte (y parámetros geotécnicos asociados) y la identificación de eventuales zonas de riesgo para la construcción.

La finalidad de las medidas de vibraciones fue, de un lado estudiar la respuesta dinámica a lo largo de la ruta y por el otro medir los niveles base de vibración presentes en el área antes del inicio de la construcción de la obra. En este último caso, se analizaron los valores bases de los efectos de las vibraciones a estructuras y a personas según normas internacionales.

El estudio se ejecutó realizando un total de doscientos uno (201) tendidos / implantaciones sísmicas distribuidas a lo largo de los 22 km de la ruta de la línea uno del Metro. Estas medidas sísmicas complementan las doscientas diecisiete (217) medidas de vibraciones naturales.

Este informe, perteneciente al segundo producto del contrato **CLCC-UNMQ-2011-009**, presenta:

- Los resultados del estudio de sísmica de refracción por Micro Tremores – ReMi (sísmica pasiva).
- Una primera integración con los resultados de análisis de vibraciones naturales y ensayos downholes ejecutados en la primera fase de perforaciones. Los detalles de los resultados del método de vibraciones naturales son presentados en un reporte adicional que complementa lo expuesto en este reporte y donde se analiza también, en la óptica de un estudio de línea base, los niveles de vibraciones existentes a lo largo de la ruta en afectación a estructuras y humanos.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

### 2.1 Objetivo

Los estudios sísmicos no invasivos han sido planeados para:

- Caracterización de sitio como soporte al estudio geotécnico (profundidad substrato y secuencia estratigráfica).
- Clasificación de suelos.
- Identificación posibles riesgos geológicos.
- Caracterización dinámica de la ruta y contribución preliminar a los estudios de microzonificación (perfil de ondas de corte, determinación del periodo fundamental entre otros).

### 2.2 Métodos Aplicados

- Sísmica por Micro tremores – ReMi (sísmica pasiva).
- Análisis de Vibraciones Naturales.

### 2.3 Ubicación del Proyecto

- Proyecto: Primera Línea del Metro de Quito, Ecuador.
- Ubicación: Quito, Provincia de Pichincha, Ecuador. Figura 1.

### 2.4 Normas y Procedimientos de Referencia

- **ASTM D6429** Guide for Selecting Surface Geophysical Methods.
- **ASTM D420** Guide to site characterization for Engineering, Design, and construction purposes.
- **NEHRP** Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures: Provisions (FEMA P-750) 2009 Edition of Building Seismic Safety Council (BSSC).
- **ICC-IBC 2009** Seismic Design Category Provisions.
- **ISSMFE, 1993 (rev. 1999)** Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. Prepared by the Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, **TC4**, of the International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- **SESAME 2004** Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibration: Measurements Processing and Interpretation. European Commission Research General Directorate. Project N° EVG1-CT-2000-00026
- **CEC-2002** Código Ecuatoriano de la Construcción.

### 2.5 Fecha Adquisición Datos

#### Sísmica por Micro Tremores – ReMi (Sísmica Pasiva)

- Desde el 20 de Octubre hasta el 17 de Noviembre de 2011.

#### Vibraciones Naturales

- Desde el 20 de Octubre hasta el 4 de Noviembre de 2011.

Detalles de la adquisición son presentados en el reporte de la primera entrega, Producto 1 (Reporte de Adquisición de Campo).

### 2.6 Personal Técnico

- Aldo Cataldi, MSc. Ingeniería Geofísica. Coordinación del proyecto.
- Héctor Rojas. Ingeniero Geofísico, adquisición y procesamiento de datos.
- Jorge Pumar. Lic. Física mención Geofísica. Adquisición y procesamiento de Datos.
- Dayana Pacheco. Lic. Física mención Geofísica. Adquisición y Procesamiento de datos.
- Solange Mijares. Ingeniero Geofísico. Procesamiento de datos.
- Carlos Sánchez Machado. Ingeniero Geofísico. Procesamiento de datos.

### 2.7 Instrumentación

#### Micro Tremores – ReMi (Sísmica Pasiva)

- 2 Sismógrafos: **SEISMIC SOURCE**, 24 bit y 24 canales cada uno.
- 5 Sismografos **SIGMA ISeis** (wireless), 32 bit y 3 canales cada uno.
- Geófonos: **Geo-Space 4.5 Hz**.

#### Vibraciones Naturales

- Sismógrafo: **SYSCOM MR 2002- CE**.
- Geófonos: **SYSCOM MS-2003** (triaxial activo compensado electrónicamente).

### 2.8 Parámetros de Adquisición

#### Sismógrafo Seismic Source – ReMi (Sísmica Pasiva)

- Número de canales Activos: 24.
- Separación geófonos: 4m y 8m.
- Tiempo de Grabación y número de registros: 30 seg. por 16 grabaciones.
- Fuente: Micro Tremores naturales y percusiones para aumentar la alta frecuencia en la señal.

#### Sismógrafo Sigma Iseis (ReMi) – ReMi (Sísmica Pasiva)

- Número de canales Activos: entre 12 y 15.
- Separación geófonos: entre 10 y 30m.
- Tiempo de Grabación y número de registros: 60 seg. por 30 grabaciones.
- Fuente: Micro Tremores naturales.

#### Vibraciones Naturales

- Configuración del Geófono Triaxial: GAIN (sensitivity 19.5 V/cm/s)
- Unidad de medida:  $\mu\text{m} / \text{s}$
- Filtro Pasabajos 50Hz.
- Frecuencia de muestreo: 200 Hz.
- Tiempo de medición: 60 s por grabación
- Numero de grabaciones por estación: 15

Detalles de los equipos son presentados en el reporte de la primera entrega, Producto 1 (Reporte de adquisición de Campo) y en el documento "[TRX\\_Producto 2\\_Anexo Datos\\_Quito](#)" anexo al material del Producto 2.



Figura 1: Ubicación general de la zona de estudio.

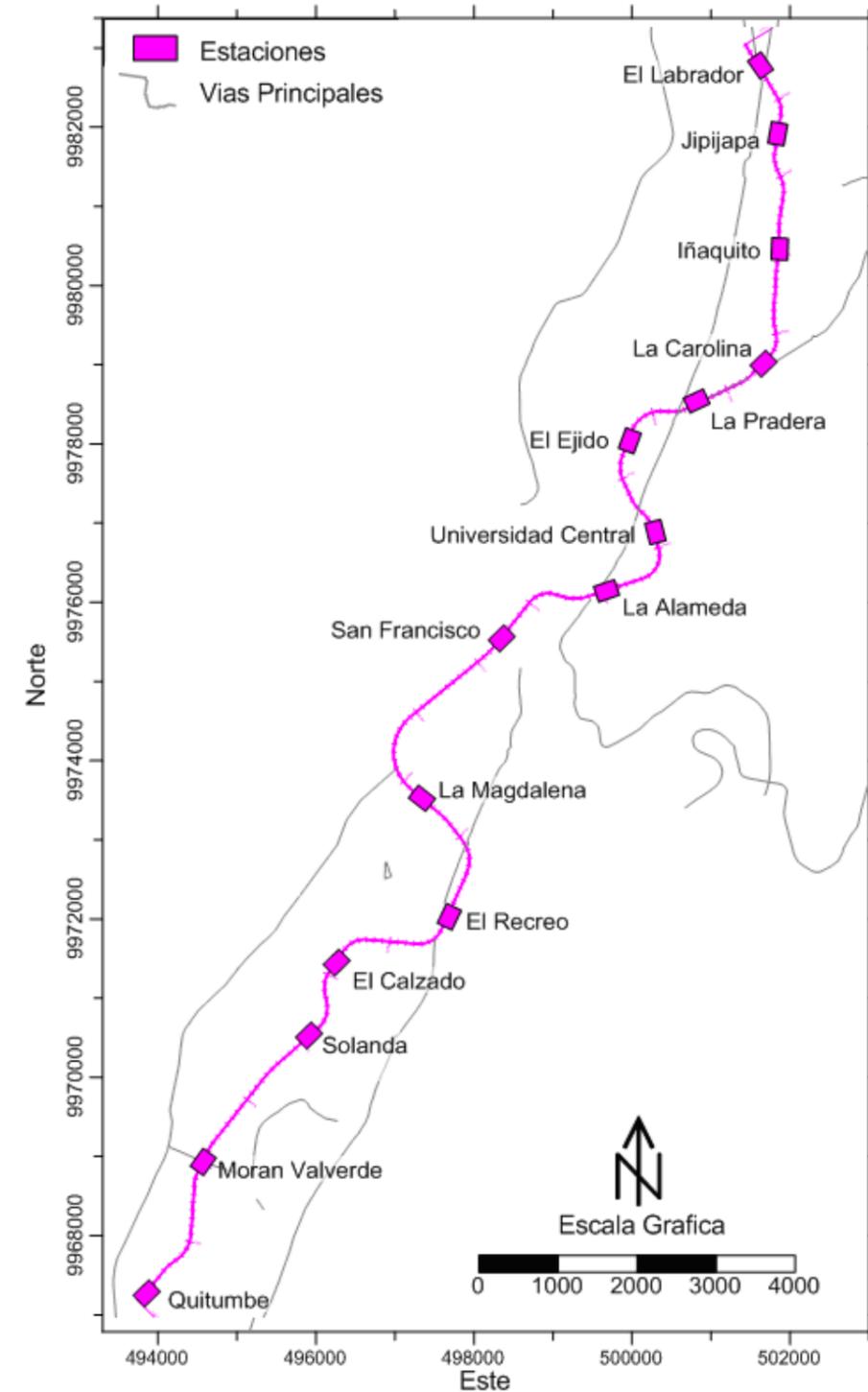


Figura 2: Ubicación geo-referenciada de la zona de estudio.

### 3. SINTESIS RESULTADOS ANALISIS DE VIBRACION NATURALES

En este párrafo se sintetizan los resultados del estudio de vibraciones naturales únicamente en la óptica de la caracterización dinámica de la ruta. Mayores detalles sobre el método y sus resultados se encuentran en el reporte complementario de vibraciones naturales "TRX\_Producto2\_Reporte VN\_Quito".

A lo largo de toda la ruta de proyecto se obtuvieron periodos fundamentales de vibración natural (obtenidos desde la relación espectral entre las componentes horizontales y verticales según el método de Nakamura) que varían entre 0.15s y 0.46s. La Figura 3 muestra un perfil de los periodos medidos a lo largo de la ruta y la correlación con la topografía de la zona. En esta Figura se observan varias discontinuidades que se correlacionan muy bien tanto con la topografía como con la geología de la zona. El periodo fundamental es representado también en forma de mapa en la Figura 4.

En el área sur, entre las progresivas 0-8200 aproximadamente, los valores de periodos varían entre 0.18s a 0.46s. En la zona de Quitumbe valores relativamente bajos indican una secuencia relativamente más rígida con excepción de un pico relativo asociado a los sedimentos de la Quebrada de Ortega. Los datos se estabilizan alrededor de los 0.3 s desde 2+700 a 5+200 con un pico relativo en correspondencia de la Quebrada El Tránsito (zona de Solanda, ~4+200). El máximo relativo de los datos (entre la zona del Calzado, 5+200, y aproximadamente la Magdalena, 8+200) está asociado con un bajo topográfico y la presencia de espesores relativamente mayores de sedimentos lagunares blandos.

En la transición sur a la zona del Panecillo se observan otros cambios relativos abruptos, donde en la zona del cruce más al norte del río Machangara (8+500-8+600), son interpretados como estructuras tectónicas. En el Panecillo, alrededor del abscisado 9+500-11+000, se observan los valores más bajos en asociación a una secuencia más rígida y la presencia de un substrato asociable a roca "sensu strictu" relativamente más superficial. Las transiciones a esta zona (~9+500) y en proximidad de la Plaza de S. Francisco (~11+000), además de transiciones laterales de origen litológicas podrían ser asociadas a elementos estructurales.

Desde el abscisado 11+000 a 14+000 los valores de periodo fundamental se mantienen bastante estables alrededor de 0.3 s a indicación de una relativa homogeneidad en la distribución de la cobertura y substrato geotécnico.

En correspondencia del Ejido un cambio abrupto de periodo pudiese comprobar las observaciones desde sensores remotos que evidencian la posible presencia de una estructura geológica que cruza la ruta y define la transición a una zona con periodos más bajos (0.18s-0.25s) a indicación de un contraste de impedancia asociado al substrato geotécnico más superficial y/o una secuencia más rígida. Una ligera excepción es observada alrededor del abscisado 20+000 donde valores de alrededor 0.3s son asociados a sedimentos de la Quebrada Caceido.

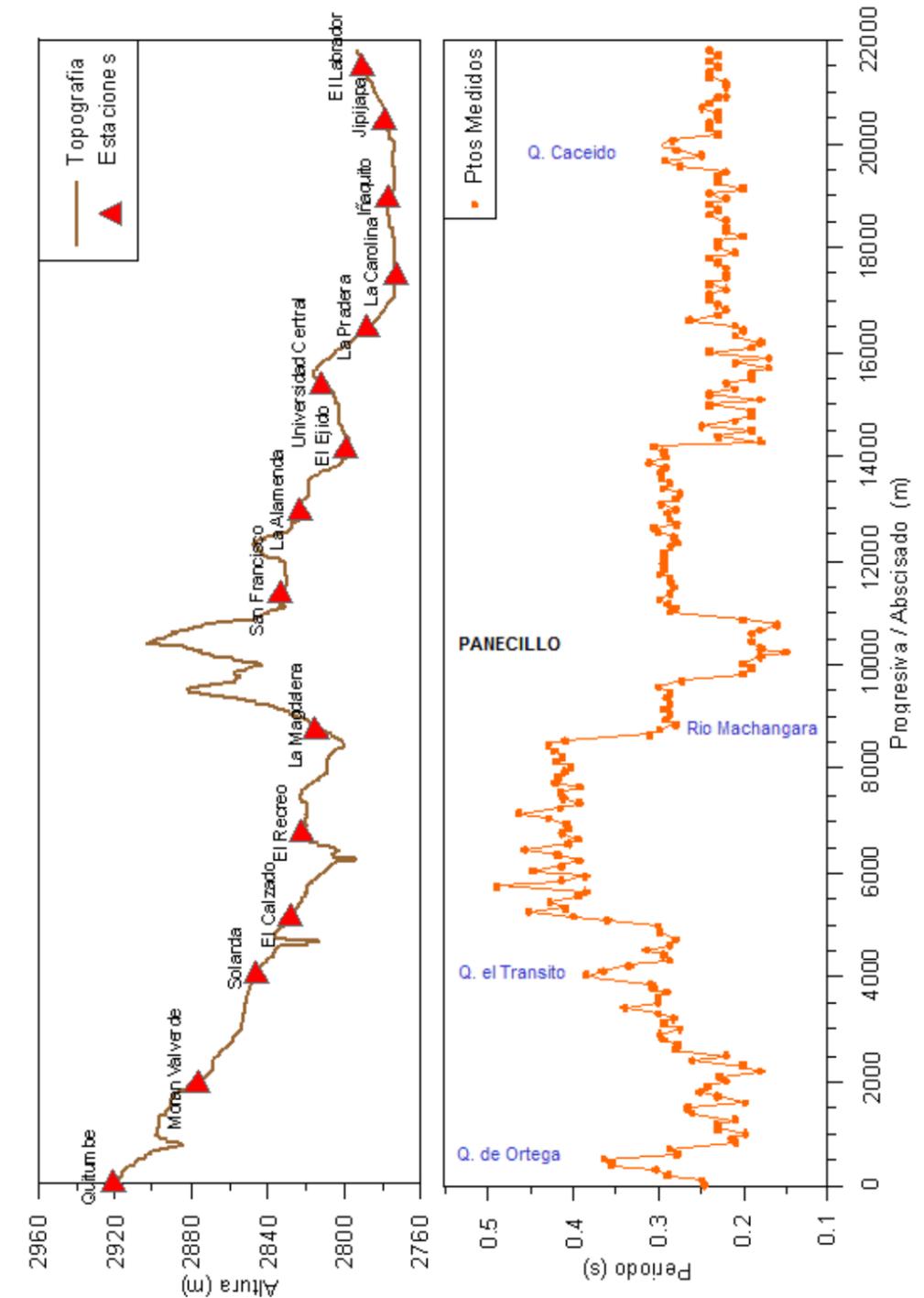


Figura 3: Perfil topográfico y periodo fundamental en función del abscisado.

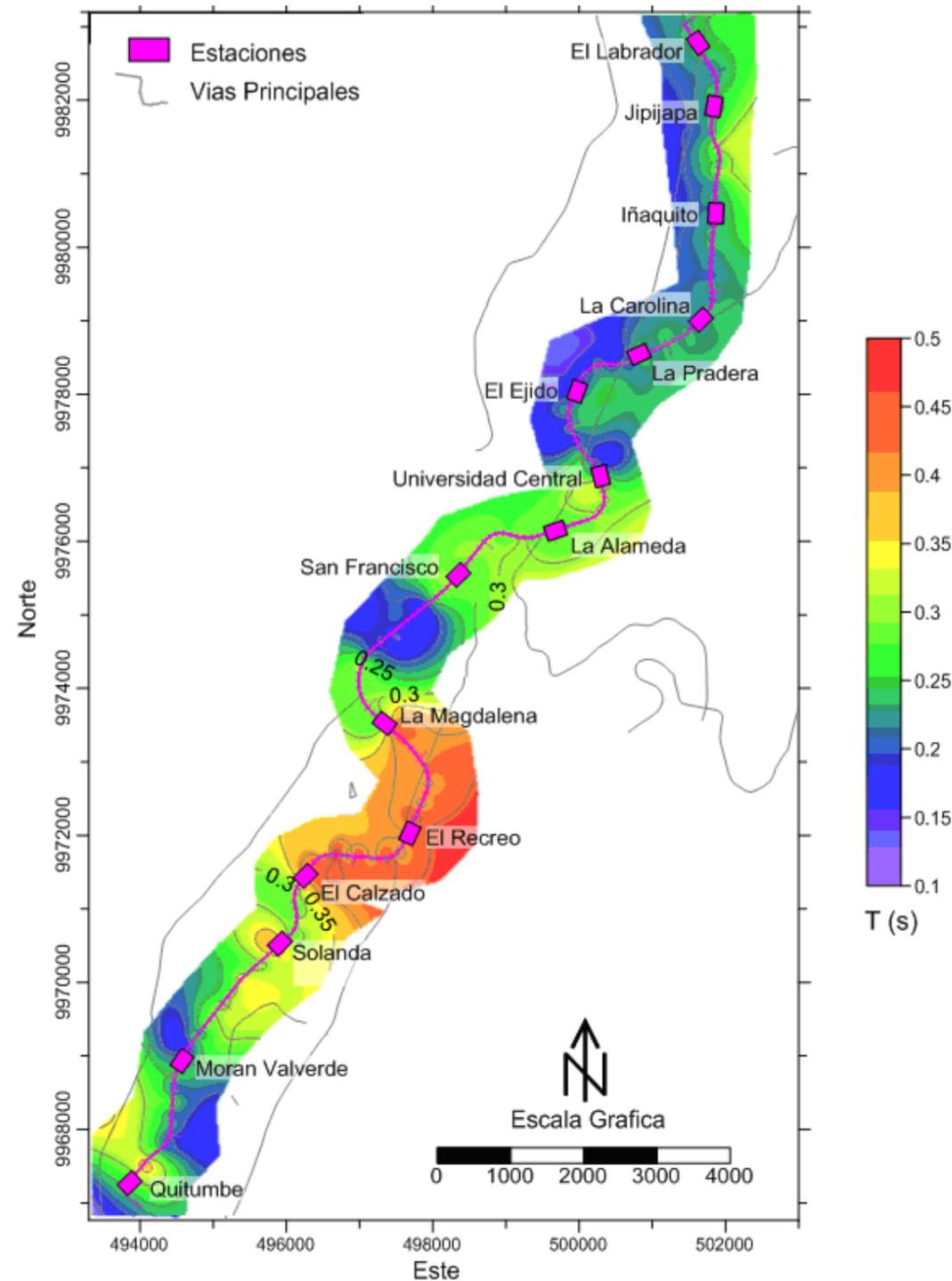


Figura 4: Mapa de Iso-periodos a lo largo de la ruta de estudio.

#### 4. ANALISIS SISMICO de REFRACCION por MICRO TREMORES

El método de sismica de refracción por micro tremores – ReMi o de análisis de ondas superficiales, utiliza ruido natural o ruido generado por la actividad humana para caracterizar la distribución de las ondas de corte en el subsuelo. La aplicación de esta tecnología, también en ambiente urbano e industrial, permite el cálculo de la velocidad de propagación de la energía de las ondas superficiales (principalmente tipo Rayleigh) a partir de la cual es posible estimar el perfil de velocidades de ondas de corte, espesor de las secuencias estratigráficas, su consolidación y determinar profundidad del substrato geotécnico/roca. Desde los valores de ondas de corte se pueden evaluar también otros parámetros de interés ingenieril y sismológico como la Vs30, la clasificación de suelos y sitios, factor de amplificación sísmica superficial y definir parámetros geotécnicos como la capacidad de carga máxima admisible y los módulos elásticos.

##### 4.1 Ejecución, Ubicación Medidas y Adquisición de Datos.

El estudio se ejecutó realizando un total de doscientos uno (201) tendidos / implantaciones sísmicas distribuidas a lo largo de los 22 km de la ruta de la línea uno del Metro. Entre estos:

Se ejecutaron 171 tendidos/implantaciones en la ruta desde el Abscisado/Progresiva 0+000 hasta el 9+300 y desde el 11+500 hasta el 22+130, con separación de geófonos de 4m y 8m. En la adquisición se procedió a solapar tendidos adyacentes en lugares logísticamente accesibles y donde no existían limitaciones asociadas a accesos viales y tráfico.

En las zonas de las intersecciones viales mayores y de alto flujo vehicular, para llevar a cabo la adquisición sísmica, se contó con la colaboración de la Policía Nacional para cortar el paso de vehículos en horas de la noche comprendidas entre las 22:00 a 2:30 AM, garantizando la seguridad del personal técnico y de la instrumentación. Se realizaron un total de 15 tendidos/implantaciones de 4m de separación entre geófonos.

Las zonas donde se hizo necesario una investigación a profundidades mayores de 60 metros y donde no se pueden instalar arreglos de cables de largas dimensiones (por la conformación urbana), como es el caso del centro histórico y la zona de Panecillo, se utilizó el sistema de sismógrafos wireless (inalámbrico) Sigma Iseis. Esta tecnología de punta desarrollada para exploración petrolera compleja ha sido utilizada por primera vez en el mundo para fines geotécnicos en ambientes urbanos densamente poblados y de interés histórico. Este sistema de sismógrafos permite realizar arreglos/implantaciones sísmicas de grandes dimensiones que, en el presente estudio permitieron alcanzar profundidades de más de 300 m. Los estudios se realizaron desde el abscisado/progresiva 9+300 hasta 11+500 con un total de 15 tendidos/implantaciones.

Cabe destacar que, a lo largo de la ruta, vías menores de alto tráfico, acceso a estacionamientos-centros comerciales, etc. impidieron la ejecución continua de los arreglos con su solapamiento. Estas zonas son representadas en las secciones con su descripción de posición y con la definición AV (acceso vial).

El total de datos adquiridos y reportados fue de 22130m lineales.

Detalles del procedimiento de la adquisición son presentados en el reporte de la primera entrega, Producto 1 (Reporte de adquisición de Campo). La posición de los tendidos/implantaciones son también detallados en el documento "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito" anexo al material del Producto 2.

**Profundidad de Investigación:**

La profundidad de investigación es la resultante de la combinación de parámetros como la configuración del arreglo usado (largo del tendido y frecuencia geófonos) y las características de la secuencia investigada. Para los fines de investigación del proyecto, en el que conciernen las posibilidades operativas de adquisición de datos, se usaron tendidos con largo variables entre 4 y 8 m en lugares de fácil acceso, y sismógrafos inalámbricos, en las zonas de difícil acceso. En ambos casos se emplearon geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz) para obtener mayor profundidad de investigación. En la práctica, en el entorno investigado se alcanzaron las siguientes profundidades implícitas máximas de investigación:

- Tendidos de 4m. ~40m de profundidad
- Tendidos de 8m. ~55m de profundidad
- Tendidos con sismógrafos inalámbricos. >100m de profundidad

Nótese que las profundidades implícitas de investigación son mayores que la última interfaz definida en la sismo estratigrafía.

**4.2 Procesamiento Datos.**

Los datos y registros obtenidos en cada tendido/implantación sísmica fueron procesados preliminarmente para obtener perfiles de velocidad de ondas de corte. Esto fue posible seleccionando, para cada tendido, los registros con mejor señal y creando modelos (a través de la inversión 1D) usando grupos de 12 geófonos. Para cada grupo de geófonos el procesamiento de los datos de micro tremores constó de los siguientes pasos:

- Edición de traza – geometría.
- Selección geófonos del arreglo.
- Análisis espectral de la señal de ruido ambiental para la definición del espectro lentitud frecuencia (p-tau) de las ondas Rayleigh.
- Apilamiento espectros más representativos.
- Selección (picking) de la curva de dispersión.
- Inversión 1D de la curva de dispersión y obtención del modelo de interpretación del perfil de ondas de corte para el grupo de geófonos seleccionado.
- Definición de perfiles velocidades de ondas de corte y sismo estratigrafía por el tendido completo.

La Figura 5 muestra un ejemplo de espectro (lentitud / frecuencia) y curva de dispersión seleccionada. La Figura 6 presenta un ejemplo de modelo de inversión 1D de la curva de dispersión.

La interpretación cuantitativa 1D ha sido ejecutada teniendo como referencia los resultados de la interpretación de los ensayos downholes ejecutados en la primera fase.

El procesamiento estándar de las implantaciones adquiridas con cables ha sido ejecutado en Caracas por TRX, mientras el procesamiento avanzado de los datos inalámbricos fue ejecutado en USA en las oficinas de Optim Software, por el desarrollador del método ReMi, con quien se ha programado y ejecutado también la adquisición de datos inalámbricos.

El procesamiento de los datos obtenidos en la fase inicial de procesamiento consto de las siguientes etapas adicionales:

- Definición parámetro Vs30 (modelo central de cada tendido), clasificación suelos según IBC, definición coeficiente de amplificación sísmica superficial (Fa).
- Derivación parámetro dinámico, rigidez a diferentes profundidades.

- Definición substrato geotécnico y profundidad Vs=400 m/s.
- Definición del parámetro capacidad de carga permisible. Este último factor ha sido calculado a nivel rasante conjuntamente a la rigidez y al Fa.

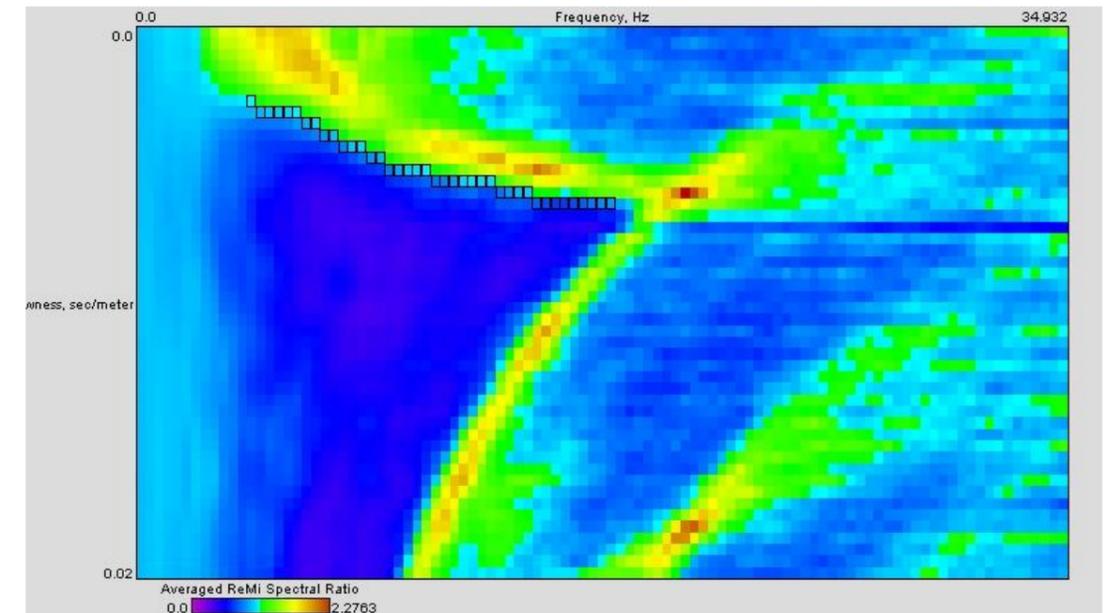


Figura 5: Ejemplo de espectro y selección curva de dispersión.

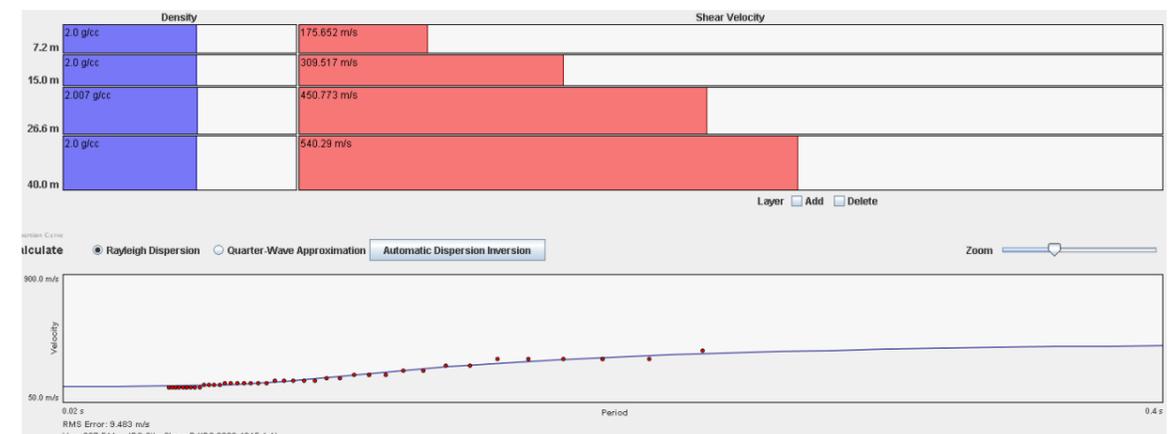


Figura 6: Tendido T5, modelo 1-12. Modelo 1D de ondas de corte Vs.

Descripción de parámetros derivados por el modelado de las medidas de ondas de corte

**Parámetros Dinámicos. Rigidez – Módulo de deformación al corte (Gmáx).**

Por medio del uso combinado de datos geotécnicos como las densidades ( $\rho$ ) y los datos sísmicos, se calculó el módulo de deformación al corte **Gmáx**, en el sistema *mks*, a diferentes profundidades (10m, 20m, 30m y 40m) y para el nivel central de la rasante. Adicionalmente, a fin de evaluar la secuencia entera a lo largo de la ruta, se reporta el valor equivalente de Gmáx para los primeros 40m.

### Vs30 & Clasificación de Sitio

El parámetro Vs30 representa las velocidades equivalentes de las ondas de corte en los primeros 30m. El valor de la Vs30 es generalmente utilizado en las diferentes normas mundiales en caracterización específica de sitio para evaluaciones de amenazas sísmica (DSHA-Deterministic Seismic Hazard Assessment) y en la clasificación de suelos. Este valor puede ser asociado con rangos de valores de golpes SPT (*Standard Penetration Resistance N*) y esfuerzo de corte en suelo no drenado (*Soil Undrained Shear Strength, Su en kg/cm<sup>2</sup> o kPa*), parámetro definido también como cohesión. En el reporte se hace referencia a la clasificación **IBC – NEHRP - ASCE** como definida en la tabla "1615.1.1: Site Class Definitions". Estas normas han sido consideradas por el hecho que representan los estándares más modernos en la evaluación y diseño de estructuras sísmo resistentes y porque consienten insertar en los cálculos ingenieriles los parámetros derivados de la caracterización específica de sitio.

### Profundidad Nivel Vs=400 m/s e del Sustrato Geotécnico

En la normativa ecuatoriana el nivel Vs=400 m/s representa la transición entre suelos semi-blandos/rígidos/firmes y duros/densos. Notar que este nivel de transición entre suelos rígidos y muy duro/densos en la norma IBC es identificado (en forma menos conservativa) por valores de 360 m/s. La norma IBC indica como este último nivel corresponda a valores N<sub>spt</sub> mayores de 50. Es interesante también citar las últimas modificaciones a las normas chilenas (DS117 Modificado) que refieren a velocidades de ondas de corte de 350 m/s como el nivel de transición entre suelos semi blandos a densos, (concepto que se acerca a la norma IBC).

En el análisis de los datos a raíz de los resultados de los ensayos downhole de la primera fase de las perforaciones, se define como sustrato geotécnico la transición a un nivel donde las Vs son mayores de 360 m/s o donde, por velocidades menores pero en el mismo rango (mayores de 320-340 m/s) la relación entre Vs del sustrato inferior más duro y su cobertura semi blanda varia entre 1.4 y 1.7. Geológicamente, en la zona de Quito esta transición es encontrada entre sedimentos holocénicos y más antiguos (pleistocénicos?) o entre sedimentos holocénicos y la formación Cangahua.

Estas correlaciones, conjuntamente a los valores de rigidez a diferentes niveles, son reportadas a fin de indicar las condiciones de compacidad/rigidez que puedan ser consideradas para el diseño de la rasante. Mientras el nivel Vs=400 m/s es un nivel teórico que puede ocurrir al interior de una capa ya densa/dura, el concepto de sustrato geotécnico, correspondiendo a un límite entre capas, parece más apropiado para definir las transiciones a condiciones de compacidad mayor.

### Capacidad de Carga Permisible (q<sub>a</sub>)

La investigación de velocidades de ondas de corte Vs, combinadas con la información de densidades de las unidades investigadas, ofrece la posibilidad de analizar las condiciones de los suelos *in situ* y calcular la capacidad de carga permisible - Allowable Bearing Capacity (para fundaciones superficiales) en forma económica, eficaz y espacialmente representativa. Esto especialmente considerando la mayor cantidad de datos y la distribución espacial posible con medidas sísmicas respecto a las pruebas de laboratorio (que también no representan condiciones *in situ*). Los valores presentados se basan en los trabajos de Stokoe & Woods y Tezcan et al., 2006. Este valor ha sido derivado para el nivel central de la rasante (n.b. trazado disponible en el momento de la escritura del presente reporte).

### Factor de Amplificación (Fa)

En estudios de amenaza sísmica, cuando se tiene en cuenta solamente los aspectos probabilísticos, fuente y propagación, el movimiento queda caracterizado en roca o suelo duro, sin que se considere efectos locales. Pero cuando el movimiento se produce en otro tipo de emplazamientos, p.e., suelos con espesor variable de sedimentos más o menos blandos o en ciertas irregularidades topográficas, es necesario tener en cuenta la influencia de las condiciones locales – esencialmente geología superficial y topografía - como tercer factor integrante del movimiento. El factor de amplificación es una estimación del incremento en la aceleración (PGA) asociado a efectos superficiales. En el área específica de estudio se considera sólo el efecto asociado al espesor de los sedimentos. El Fa es derivado por fórmulas empíricas, Método de Midorikawa, 1987 (según especificaciones de manual ISSMFE - TC4 para el grado 2 de microzonificación sísmica).

El factor de amplificación (Fa) multiplicado por la aceleración en roca  $a_{roca}$  provee la aceleración máxima  $a_{max}(g)$  en el nivel investigado.

Para aprovechar la información de este parámetro sería importante definir un valor de aceleración en roca representativo para la ciudad y a que profundidad ubicar el nivel considerado como roca (Vs>760-800 m/s).

Los datos relativos a estos parámetros son detallados, conjuntamente a otros, en el documento "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito" anexo al material del Producto 2.

### 4.3 Representación Datos.

En la primera parte del procesamiento de los datos ReMi, como fue mencionado, se realizaron modelos 1D por capas. Esto partiendo de los resultados (numero de capas y valores de velocidad) de los 20 ensayos Downholes realizados previamente a lo largo de la ruta (ver informe previo de Downholes en la Fase 1 de perforaciones). Esto permitió la derivación de una serie de parámetros relacionado a la velocidad de ondas de corte Vs que han sido graficado en forma diferente para resaltar su contenido y significado ingenieril.

Como primera etapa los datos se elaboraron en secciones sísmicas 2D hasta los 40m de profundidad (tendidos Remi de 4m y 8m de separación entre geófonos) o los 80-100m en el caso de los inalámbricos (Wireless) en el casco histórico. La Figura 7 muestra una gráfica de uno de los productos de esta parte del procesamiento, una sección pseudo tomográfica de ondas de corte correspondiente a las progresivas 0+000 - 0+600, sobre la cual se superpone la interpretación del ensayo Downhole SMQ-2, y, en la parte superior de la gráfica, la localización de los modelos 1D generados con la distribución de valores de velocidad de ondas de corte y profundidades de los estratos interpretados para cada modelo. Se reporta también el valor de Vs30 obtenido por los modelos centrales de cada tendido.

Para una mejor comprensión espacial y visual, se eligió realizar las secciones de 550-600 m de longitud con un solapamiento entre secciones de 50m. En total se realizaron 44 secciones tomográficas que se entregan como producto principal de este informe. En la Tabla 1, se enumeran cada una de las secciones así como las progresivas/abscisado que las delimitan.

Se hace notar que:

- la representación pseudo tomográfica es generada interpolando los modelos 1D por capas. La resolución de esta representación es condicionada fuertemente por el número de capas de cada modelo, la distribución lateral de los mismos y el algoritmo de interpolación entre los perfiles.

- La escala de color se escogió un rango de colores asociados a velocidades de ondas de corte que cubriera toda la ruta. Esto, en la sección tomográfica, no permite evaluar los cambios laterales tan claramente como al usar una escala relativa para cada sección, pero permite correlacionar toda la ruta. Los valores mínimos de velocidad de ondas de corte Vs de alrededor de 70-90 m/s son observados en la parte sur alrededor de las progresivas 2+250 y 3+320, mientras los valores máximos de alrededor de 700-800 m/s son observados en los datos profundos obtenidos con los sismógrafos inalámbricos en la zona del Panecillo. Por estas razones se creó inicialmente una tabla de colores con rango desde 0 a 800 m/s. Para evidenciar la transición a suelos duros denso se asoció el color amarillo a los de valores de 360 m/s. Subsecuentemente, al final del procesamiento de los datos inalámbricos, se observaron, en profundidades mayores de 50m, velocidades mayores (alrededor de los 1100 m/s) a las inicialmente definidas. Esto nos obligó a extender la escala de colores para algunas secciones en el centro histórico hasta 1200 m/s.

Desde el punto de vista práctico e ingenieril el desglose de los valores del modelo 1D permite evaluar en detalle la sismo estratigrafía a lo largo de la ruta.

Adicionalmente para realizar los análisis de coherencia lateral y correlación de los múltiples parámetros calculados e interpretados, se elaboraron, en correspondencia de los mismos intervalos de abscisado de las secciones previamente descritas, perfiles apilados de topografía, periodo fundamental derivado por las vibraciones naturales, Vs30, factor de amplificación superficial y rigidez máxima (G<sub>máx</sub>) a diferentes profundidades (ver ejemplo en Figura 8).

Estos insumos (esquemáticos en las Figuras 7 y 8) representan el núcleo del procesamiento de los datos geofísicos de caracterización de ruta. Estos son presentados, para intervalos de progresivas/abscisado, en formatos PDF A3 para su rápida impresión y consulta.

Adicionalmente, en el mismo formato A3 se presenta un perfil global (0+000 – 0+22+130) con la gráfica de la topografía/tomografía de ondas de corte y los perfiles apilados de Periodo Fundamental, Vs30 y G<sub>máx</sub> (*Perfil total Vs-T-Vs30-G.pdf*).

Abscisado/Progresiva		Productos Gráficos	
Desde	A	Sección Sísmica	Parámetros Complementarios
0+000	0+600	MQL1-SP 0-600a.pdf	MQL1-SP 0-600b.pdf
0+550	1+100	MQL1-SP 550-1100a.pdf	MQL1-SP 550-1100b.pdf
1+050	1+600	MQL1-SP 1050-1600a.pdf	MQL1-SP 1050-1600b.pdf
1+550	2+100	MQL1-SP 1550-2100a.pdf	MQL1-SP 1550-2100b.pdf
2+050	2+600	MQL1-SP 2050-2600a.pdf	MQL1-SP 2050-2600b.pdf
2+550	3+100	MQL1-SP 2550-3100a.pdf	MQL1-SP 2550-3100b.pdf
3+050	3+600	MQL1-SP 3050-3600a.pdf	MQL1-SP 3050-3600b.pdf
3+550	4+100	MQL1-SP 3550-4100a.pdf	MQL1-SP 3550-4100b.pdf
4+050	4+600	MQL1-SP 4050-4600a.pdf	MQL1-SP 4050-4600b.pdf
4+550	5+100	MQL1-SP 4550-5100a.pdf	MQL1-SP 4550-5100b.pdf
5+050	5+600	MQL1-SP 5050-5600a.pdf	MQL1-SP 5050-5600b.pdf
5+550	6+100	MQL1-SP 5550-6100a.pdf	MQL1-SP 5550-6100b.pdf
6+050	6+600	MQL1-SP 6050-6600a.pdf	MQL1-SP 6050-6600b.pdf
6+550	7+100	MQL1-SP 6550-7100a.pdf	MQL1-SP 6550-7100b.pdf
7+050	7+600	MQL1-SP 7050-7600a.pdf	MQL1-SP 7050-7600b.pdf
7+550	8+100	MQL1-SP 7550-8100a.pdf	MQL1-SP 7550-8100b.pdf
8+050	8+600	MQL1-SP 8050-8600a.pdf	MQL1-SP 8050-8600b.pdf
8+550	9+100	MQL1-SP 8550-9100a.pdf	MQL1-SP 8550-9100b.pdf
9+050	9+600	MQL1-SP 9050-9600a.pdf	MQL1-SP 9050-9600b.pdf
9+550	10+100	MQL1-SP 9550-10100a.pdf	MQL1-SP 9550-10100b.pdf
10+050	10+600	MQL1-SP 10050-10600a.pdf	MQL1-SP 10050-10600b.pdf
10+550	11+100	MQL1-SP 10550-11100a.pdf	MQL1-SP 10550-11100b.pdf
11+050	11+600	MQL1-SP 11050-11600a.pdf	MQL1-SP 11050-11600b.pdf
11+550	12+100	MQL1-SP 11550-12100a.pdf	MQL1-SP 11550-12100b.pdf
12+050	12+600	MQL1-SP 12050-12600a.pdf	MQL1-SP 12050-12600b.pdf
12+550	13+100	MQL1-SP 12550-13100a.pdf	MQL1-SP 12550-13100b.pdf
13+050	13+600	MQL1-SP 13050-13600a.pdf	MQL1-SP 13050-13600b.pdf
13+550	14+100	MQL1-SP 13550-14100a.pdf	MQL1-SP 13550-14100b.pdf
14+050	14+600	MQL1-SP 14050-14600a.pdf	MQL1-SP 14050-14600b.pdf
14+550	15+100	MQL1-SP 14550-15100a.pdf	MQL1-SP 14550-15100b.pdf
15+050	15+600	MQL1-SP 15050-15600a.pdf	MQL1-SP 15050-15600b.pdf
15+550	16+100	MQL1-SP 15550-16100a.pdf	MQL1-SP 15550-16100b.pdf
16+050	16+600	MQL1-SP 16050-16600a.pdf	MQL1-SP 16050-16600b.pdf
16+550	17+100	MQL1-SP 16550-17100a.pdf	MQL1-SP 16550-17100b.pdf
17+050	17+600	MQL1-SP 17050-17600a.pdf	MQL1-SP 17050-17600b.pdf
17+550	18+100	MQL1-SP 17550-18100a.pdf	MQL1-SP 17550-18100b.pdf
18+050	18+600	MQL1-SP 18050-18600a.pdf	MQL1-SP 18050-18600b.pdf
18+550	19+100	MQL1-SP 18550-19100a.pdf	MQL1-SP 18550-19100b.pdf
19+050	19+600	MQL1-SP 19050-19600a.pdf	MQL1-SP 19050-19600b.pdf
19+550	20+100	MQL1-SP 19550-20100a.pdf	MQL1-SP 19550-20100b.pdf
20+050	20+600	MQL1-SP 20050-20600a.pdf	MQL1-SP 20050-20600b.pdf
20+550	21+100	MQL1-SP 20550-21100a.pdf	MQL1-SP 20550-21100b.pdf
21+050	21+600	MQL1-SP 21050-21600a.pdf	MQL1-SP 21050-21600b.pdf
21+550	22+100	MQL1-SP 21550-22100a.pdf	MQL1-SP 21550-22100b.pdf

Tabla 1: Intervalo de abscisado/progresiva de las secciones y correlaciones de datos sísmicos de caracterización de ruta. Sección tomográfica y perfiles sísmicos 1D (MQL1-SP \*-\*.a.pdf). Correlación parámetros sísmicos adicionales: (MQL1-SP \*-\*.b.pdf).

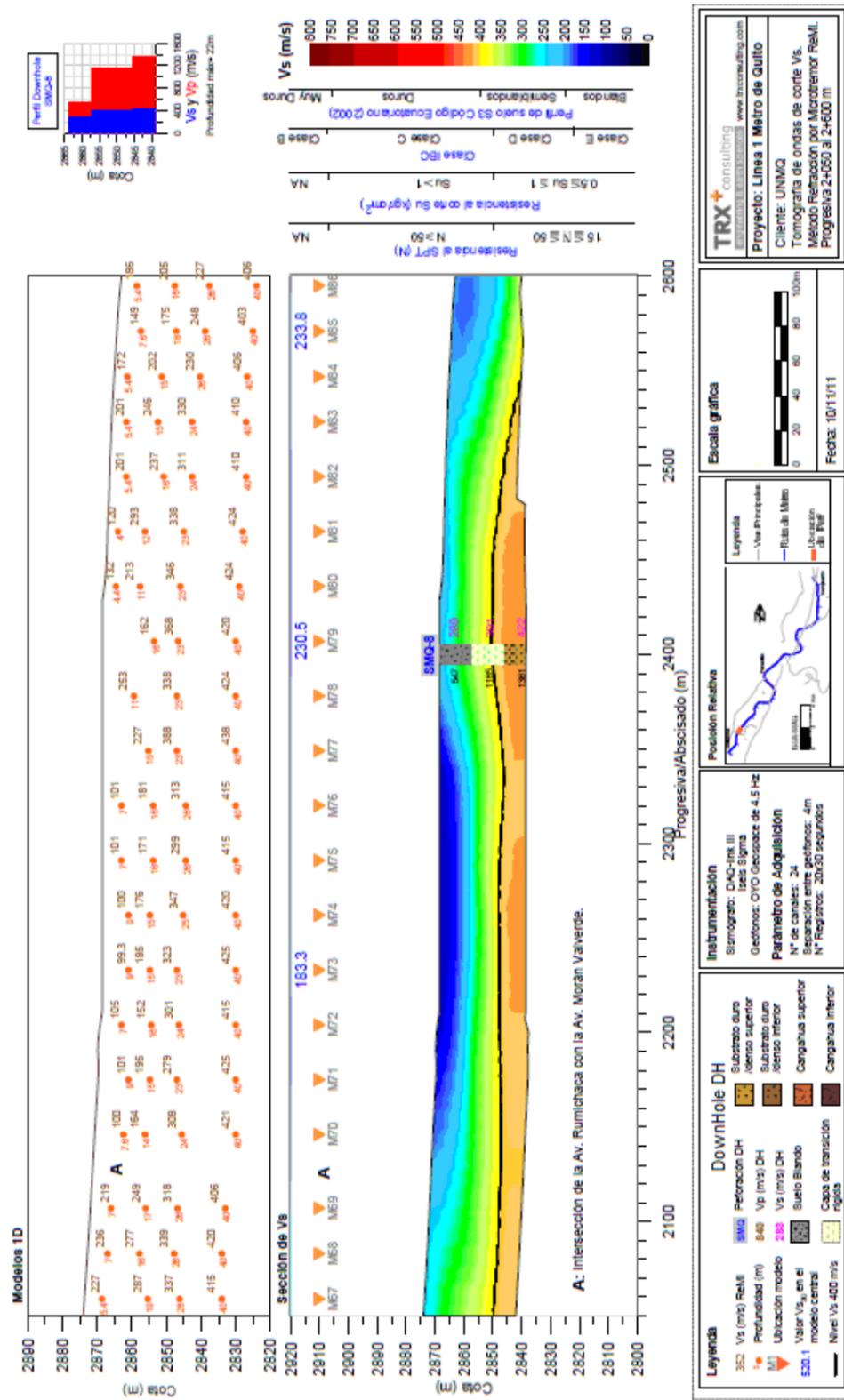


Figura 7: Ejemplo de sección Tomográfica de ondas de corte Vs. Progresivas 0+000 al 0+600.

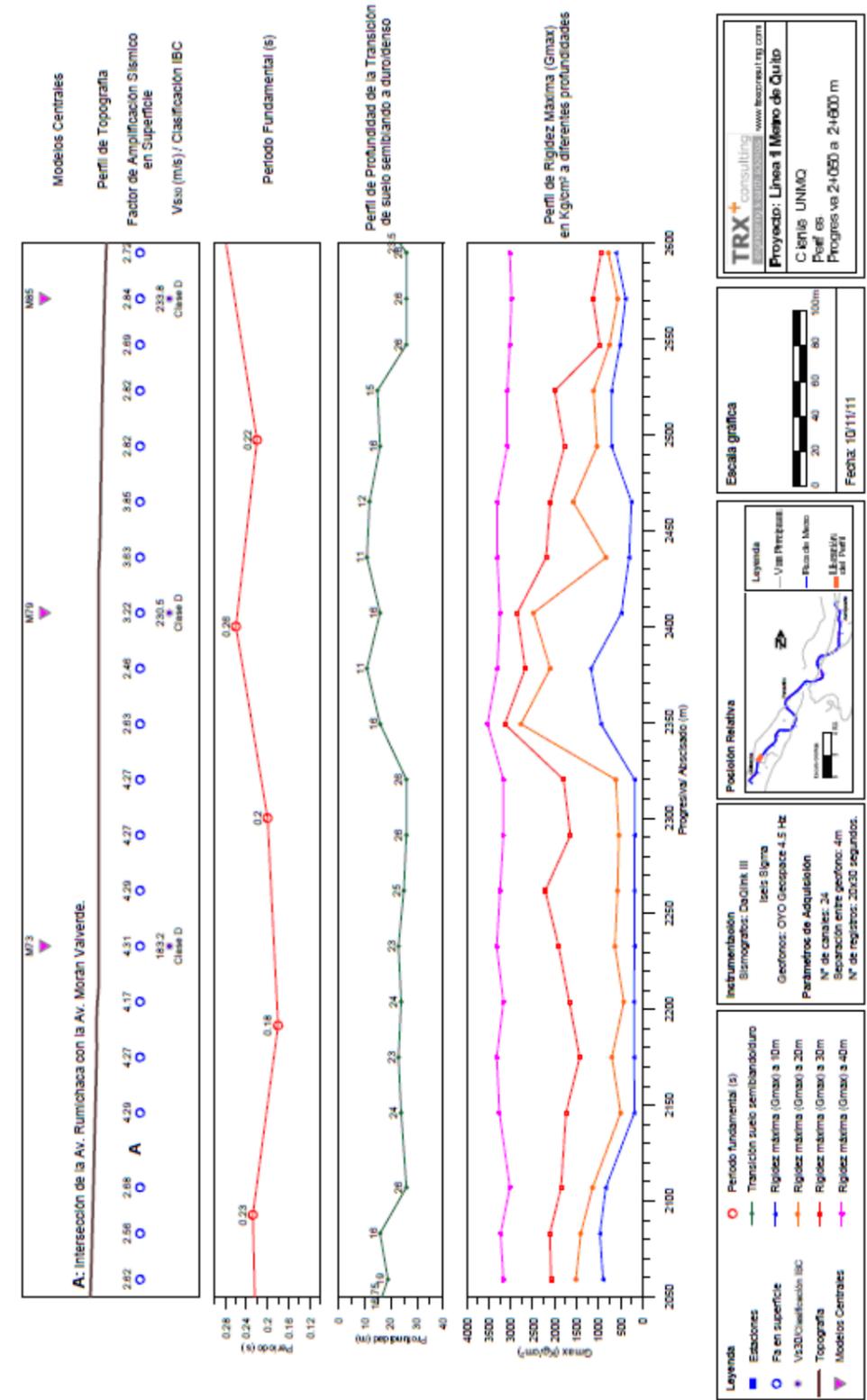


Figura 8: Ejemplo correlación entre topografía, Vs30, periodo fundamental derivado desde vibraciones naturales y rigidez a diferentes profundidades. Progresivas 0+000 al 0+600.

#### 4.4 Análisis de los Resultados.

El análisis de detalle de las secciones individuales es posible una vez se comprenda el entorno geológico global de toda la ruta. Para esto se necesita tener en consideración los resultados de los ensayos downhole de la primera campaña de perforación y, sobre todo, proceder a futura integración de lo de la segunda fase que es en curso de ejecución.

Los resultados de esta fase de interpretación es claramente preliminar y podrá ser afinada una vez se tenga a disposición toda la información de los estudios de caracterización geotécnica de la ruta y los detalles del proyecto ingenieril. Se hace notar que la correlación de la geofísica con la rasante ha sido hecha con los datos de proyecto disponibles al momento de escritura de este reporte y relativo a la ingeniería preliminar previa a la primera campaña de perforación geotécnica.

En relación a la correlación con los resultados de 20 ensayos downholes, ejecutados en la primera fase de investigación de la ruta (Agosto-Septiembre 2011), se reporta en seguida la definición derivada desde el análisis de la secuencia sismo estratigráfica (considerando principalmente las ondas de corte) y correlación litológica genérica de los mismos. Esta clasificación es reportada en las secciones de sísmica por micro tremores ReMi para la descripción de los downholes.

Se identifican 4 grupos de unidades que podrían sintetizar el comportamiento de la secuencia sismo estratigráfica superficial en el valle de Quito.

- Una cobertura de sedimentos cuaternarios (Holocénicos) y/o relleno, de naturaleza blanda - semi blanda/firme cuyas velocidades incrementan con la profundidad. En esta unidad se identifican valores más bajos en asociación a sedimentos de origen lacustre, fino y/o relleno. En la parte sur, los espesores de esta unidad son mayores justificando así los bajos valores de Vs30 (velocidad equivalente en los primeros 30m).
- A la base de la primera capa se observa un nivel de transición con comportamiento más rígido asociado siempre a sedimentos. Esto es presente en la mayoría de las perforaciones de la zona centro sur, con valores promedios de Vs=330 m/s, y en la totalidad de las perforaciones en la zona norte con valores promedio de Vs=260 m/s.
- Un substrato más duro - denso asociado posiblemente a sedimentos compactados más antiguos (Pleistocénicos?). La descripción litológica no reporta variaciones descriptivas respecto a la parte superior de la secuencia sedimentaria pero las velocidades de ondas de corte Vs y los números de golpes de los ensayos SPT (Nspt) aumentan considerablemente en correspondencia a este nivel (los Nspt son reportado en el rango de 60 golpes). En esta unidad se diferencia una parte superficial y una inferior aún más rígida.
  - En la parte superior de este substrato las velocidades de ondas de corte promedio son de 411m/s en toda el área de estudio; en particular con Vs=421 m/s en la zona centro-sur y Vs=380 m/s en la zona norte aproximadamente hasta la progresiva 20+000 (donde en lugar de esta unidad se reporta la Cangahua).
  - En la parte inferior las velocidades de ondas de corte promedio son de 507m/s en toda el área de estudio; en particular con Vs=488 m/s en la zona centro-sur y Vs=550 m/s en la zona norte aproximadamente hasta la progresiva 20+000.
- Un substrato volcánico asociado a unidades volcano-sedimentarias de la formación Cangahua (según planillas geotécnicas). Esta unidad, reportada solo en algunas perforaciones, parece presentar dos niveles.
  - Una parte superior, identificada solo en la parte norte, cuyas velocidades de ondas de corte promedio (Vs=410 m/s) solapan los valores de la secuencia

sedimentaria basal compacta más antigua mencionada anteriormente. Estas velocidades, relativamente menores a las observadas por esta formación en la zona del Panecillo, podrían ser interpretadas como un nivel superior alterado y/o una diferente composición relativa asociada a granulometría/composición química o posición/condición de emplazamiento.

- Una parte inferior cuyas velocidades de ondas de corte (promedio de Vs=574 m/s) representan los valores más altos observados en la secuencia sismo estratigráfica de los downholes (valores son observados a ~50m de profundidad en la perforación de S. Francisco).

Una representación preliminar de las relaciones entre las unidades clasificadas cualitativamente en la fase 1 de los ensayos downholes es reportada en la Tabla 2.

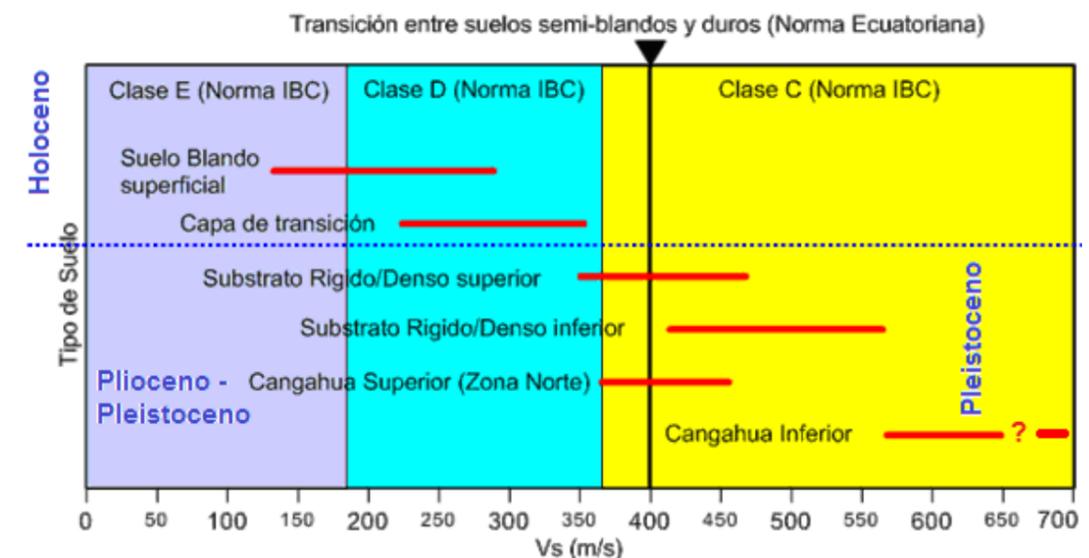


Tabla 2. Datos Downhole Fase 1 (Agosto – Septiembre 2011). Relación entre velocidades de ondas de corte en la secuencia cualitativa identificada.

A fin de evaluar espacialmente los parámetros derivados por el presente estudio sísmico, en la Figura 9 se muestran, adicionalmente a la sección pseudo tomográfica de ondas de corte en función de la topografía, unos perfiles apilados de parámetros, tales como el periodo fundamental, Vs30, clasificación de suelos según la Norma IBC y los valores de rigidez (G<sub>máx</sub>) a diferentes profundidades (10m, 20m, 30m y 40m).

Para efectos de una mejor comprensión espacial se divide la ruta en tres zonas:

- ▶ **Zona Sur:** Entre las progresivas 0+000 y 8+600.
- ▶ **Zona Central:** Entre las Progresivas 8+600 y 11+800
- ▶ **Zona Norte:** Entre las Progresivas 11+800 y 22+130

Cualitativamente, analizando los perfiles sísmicos y periodos de Figura 9, se puede observar lo siguiente:

- **Zona Sur:** Un primer ambiente geológico puede ser identificado entre Quitumbe y Solanda – El Calzado (Progresivas 0+000 – 3+500). Un segundo desde Solanda al Recreo. (Progresivas 3+500 – 8+600).

- **Zona Central:** Un primer ambiente geológico puede ser identificado en la Magdalena (Prog. 8+600) hasta aproximadamente la progresiva 11+000 (S. Francisco), y desde S. Francisco al Ejido.
- **Zona Norte:** Un primer ambiente geológico puede ser identificado entre la progresiva 11+400 (entre S. Francisco y la Alameda) y el Ejido. Un segundo a partir del Ejido hasta Labrador.

Una mejor descripción de estos entornos de comportamiento físico del sustrato podrá ser optimizado con el uso de los resultados de la segunda fase de perforaciones.

Cuantitativamente, las tres zonas anteriormente definidas son sintetizadas en los siguientes párrafos donde se analizan:

- Sismo estratigrafía.
- Periodo Fundamental.
- Rigidez a diferentes niveles.
- Vs30 y clasificación de sitio.
- Profundidad del sustrato Geotécnico /  $V_{S400m/s}$ .
- Rigidez,  $Q_a$  (capacidad de carga permisible) y factor de amplificación sísmica ( $F_a$ ) a nivel rasante.

Cabe resaltar que, al momento de redacción del presente reporte, la información sobre la rasante era relativa a la primera ubicación presentada por el consultor a UNMQ.

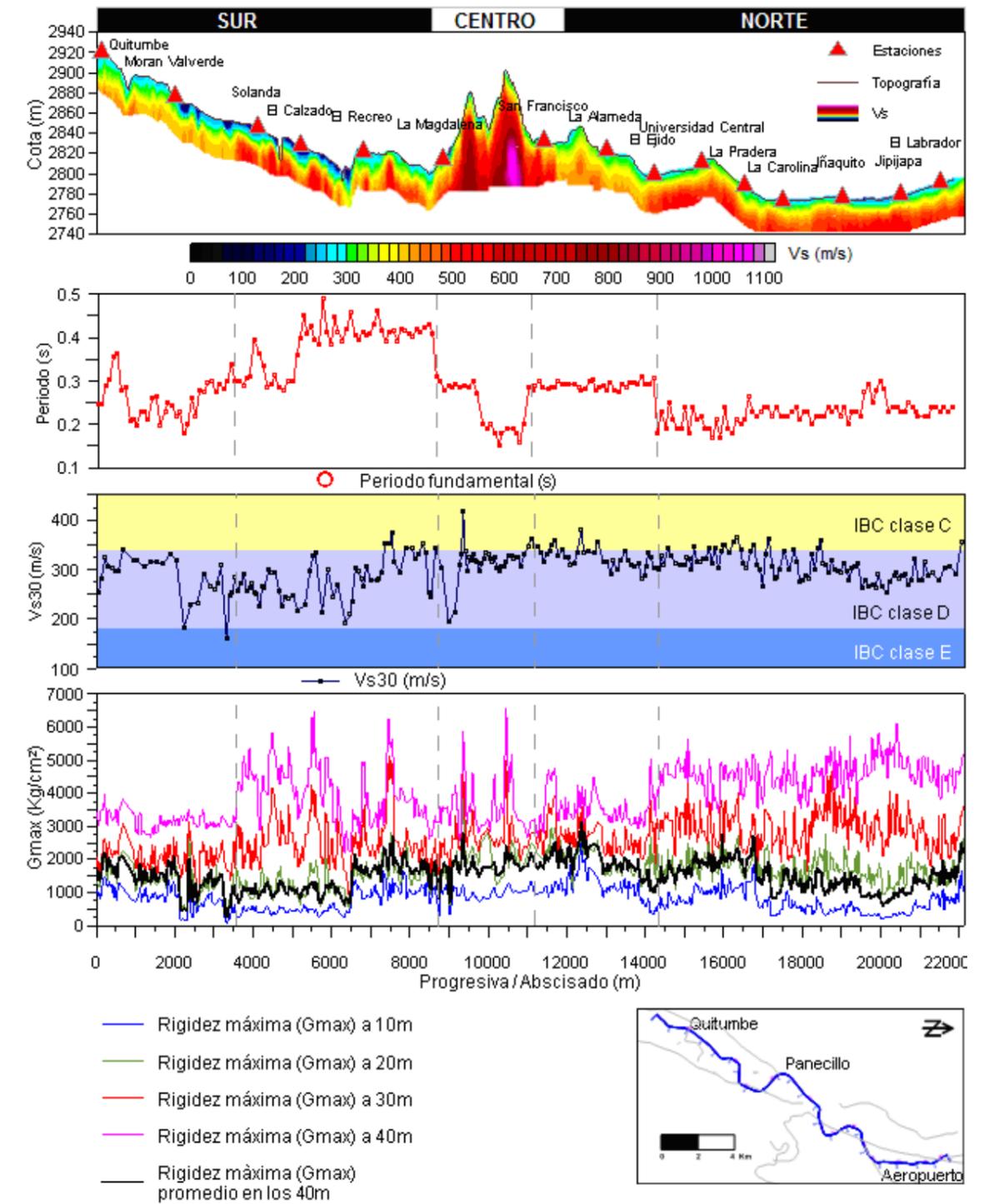


Figura 9: Correlación entre Topografía, Periodo fundamental Vs30 - Clasificación de suelos y  $G_{máx}$ .

### Zona Sur (Abscisado 0+000 y 8+600)

Una representación global de la pseudo tomografía de ondas de corte para toda el área es presentada en la Figura 10 (notar que el color amarillo define la transición a suelo duro/densos según la norma IBC). La variación de la secuencia sismo estratigráfica puede ser evaluada en detalle en las secciones relativas como es definido en la Tabla 1.

Desde el punto de vista estratigráfico se identifican unas tres - cuatro capas asociadas a sedimentos. En esta zona la primera fase de perforaciones no reporta la presencia de una unidad claramente relacionada a un nivel continuo de productos volcánicos asociados a la formación Cangahua.

- La unidad más superficial se interpreta como material suelto de relleno o sedimentos blandos holocénicos con Vs promedio de 198.3 m/s y singularidades en la Av. Rumichaca (progresivas 2+233, 2+262) con velocidades entre 90 - 100 m/s y la zona de Barabara (progresivas 3+296, 3+344) con velocidades de 85 y 73m/s respectivamente.
- El estrato siguiente corresponde a material sedimentario siempre asociado a edad holocénica, más compactado con velocidades que varían entre los 170 m/s y los 300 m/s. Esta capa, en lugares como el Recreo (en proximidad del Machángara), no es observada, sólo se identifica una capa superficial blanda sobre un substrato duro/denso ( $V_s > 360$  m/s).
- Seguidamente se observa la ocurrencia de un estrato más rígido y más compactado, con un fuerte contraste de impedancia y velocidades entre  $300 \text{ m/s} < V_s \leq 380 \text{ m/s}$ . Desde el punto de vista de su asociación litológica, estas unidades, en las perforaciones, son descritas similarmente a las de la capa anterior. La transición a estos suelos es asociada a un incremento de rigidez notable observado en los Nspt de las perforaciones que presentan valores mayores de 50 golpes (y a incrementos en velocidades en los ensayos downhole). Este comportamiento diferente en términos de rigidez de sedimentos descritos en forma similar se asocia a una mayor edad de los sedimentos interpretados como pleistocénicos.
- En la parte final de la secuencia se encuentra un substrato, relacionado a sedimentos pleistocénicos muy duros/densos, con velocidades promedio de alrededor de 450 m/s y valores que oscilan entre los 400 y 600 m/s.

En la representación espacial de la Figura 10 se pueden observar claramente la distribución de la cobertura de sedimentos blandos y su espesor. Similarmente se observa la morfología del substrato duro-denso. Desde esta representación gráfica se observa claramente como, a partir del abscisado 3+500, el substrato presenta velocidades mayores (más rígido) y evidentes transiciones laterales (ej. río Machangara) que podrían ser asociadas a discontinuidades estructurales.

### Zona Sur – Rigidez

En la Figura 11, se muestra la correlación de  $G_{\text{máx}}$  equivalente (intervalo de 40 m), detalles de  $G_{\text{máx}}$  a diferentes profundidades (10, 20, 30 y 40m), periodo fundamental y topografía. En general, se observan 3 intervalos de progresivas/abscisados bien definidos por el comportamiento del valor de rigidez a las profundidades de interés.

- **Progresivas 0+000 - 3+400:** el valor promedio de rigidez equivalente es  $1700 \text{ Kg/cm}^2$ , igualmente existe un valor máximo relativo de  $2179.0 \text{ kg/cm}^2$  (progresiva 0+176) y un mínimo relativo de  $253.2 \text{ kg/cm}^2$  (progresiva 3+344). Los valores a las profundidades de 10m, 20m y 30m siguen la misma tendencia del valor de rigidez equivalente mientras que el comportamiento de este parámetro a los 40m es mucho más estable manteniéndose con un valor promedio de  $3680.0 \text{ Kg/cm}^2$ .

- **Progresivas 3+400 - 6+400:** se distingue por presentar un valor de rigidez equivalente ( $G_{\text{máx}}$  equivalente), menor que el intervalo descrito anteriormente. Este valor en promedio, corresponde a  $1059.8 \text{ Kg/cm}^2$ , con un valor máximo de  $1347.7 \text{ Kg/cm}^2$  (progresiva 4+700) y un mínimo relativo de  $563.2 \text{ Kg/cm}^2$  (progresiva 0+563). Para las profundidades de 10m y 20m el parámetro de rigidez está entre los más bajos de la zona sur, pero a la profundidad de 30m y 40m los valores aumentan significativamente con respecto a la parte inicial de la ruta.
- **Progresivas 6+400 - 8+600:** caracterizado por un valor promedio de la rigidez equivalente de  $1737.4 \text{ Kg/cm}^2$  mayor al valor del intervalo anterior y similar al de la primera partes de la ruta. Con respecto a la variación del valor de rigidez con la profundidad, para los 10m y 20m la rigidez aumenta respecto al intervalo anterior, luego a los 30m de profundidad la rigidez presentan un incremento y comportamiento similar al observado en el segundo intervalo.

### Zona Sur - Vs30, Clasificación de sitio & Periodo Fundamental.

En la zona Sur el promedio del valor de la Vs30 (ver perfil en Figura 11) resultó en  $\sim 281$  m/s, lo que corresponde a un suelo tipo Clase **D** (perfil de suelo rígido,  $180 \text{ m/s} \leq V_s \leq 360 \text{ m/s}$ ,  $15 \leq N_{\text{spt}} \leq 50$  y  $0.5 \leq S_u$  (Esfuerzo al corte en suelos no drenados, cohesión)  $\leq 1 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Vs30 Máximo:  $\sim 374$  m/s (progresiva 7+538), clase **C** (suelo muy denso,  $360 \text{ m/s} \leq V_s \leq 760 \text{ m/s}$ ,  $N_{\text{spt}} > 50$  y  $S_u$  (Esfuerzo al corte en suelos no drenados)  $> 1 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Vs30 Mínimo: 160 m/s (progresiva 3+320), clase **E**, un perfil de suelo blando ( $V_s < 180 \text{ m/s}$ ,  $N_{\text{spt}} < 15$  y  $S_u < 0.5 \text{ Kg/cm}^2$ ). En este último caso las normas de construcción requieren estudios de caracterización específica de sitio. Otros valores de Vs30 particularmente bajos, por debajo o alrededor de los 200 m/s, se encuentran en el abscisado 2+233 (183 m/s) hasta 2+571 (233 m/s), 5+132 (217 m/s) hasta 5+320 (229 m/s), en el intervalo 6+351 – 6+514 (192-235 m/s) y en el intervalo 8+972-9+140 (195-214 m/s).

Cabe destacar que esta zona, como es evidenciado en la Figura 9, entre el abscisado 2+200 y 7+300 presenta una zona con los valores más bajos de toda la ruta (promedio de 260 m/s) en relación a los espesores mayores de sedimentos blandos – semi blandos.

En relación a los periodos fundamentales los valores observados son relativamente bajos y homogéneos oscilando entre valores de 0.25-0.3s, al sur del Calzado, y 0.4-0.45 en la zona del Recreo hasta la Magdalena. Las discontinuidades al sur del Recreo y de la Magdalena son interpretadas ser asociada a estructuras, fallas que controlan el curso del Río Machángara. Se tiene que mencionar que en el análisis de los espectro HVSR de las vibraciones naturales, se identifican, adicionalmente a los bajos valores reportados, otros picos asociados a periodos mas altos ( $\sim 1$ s). Este aspecto, observado solo en el sur, refleja posiblemente un mayor espesor de sedimentos.

### Zona Sur - Profundidad del Sustrato Geotécnico

El substrato geotécnico se ubica a profundidades entre 5.8m y 32.8m (progresivas 0+265 y 8+488 respectivamente), mientras la profundidad de la Vs400 m/s oscila entre un mínimo de 9m, (progresiva 0+262) y una zona donde no es detectada por la configuración de implantación sísmica adoptada, es decir profundidad  $> 40$ m (progresiva 6+351 - 6+514).

**Zona Sur - Rigidez, Capacidad de Carga Permisible ( $q_a$ ), Factor de Amplificación ( $F_a$ ) a nivel rasante.**

En la Figura 12 se muestran los valores de  $F_a$ ,  $q_a$  y  $G_{max}$  a nivel rasante para el intervalo considerado. Nótese que la rasante presentada en la gráfica es relativa a la primera información entregada por el consultor y puede no coincidir exactamente con la última ruta evaluada.

El valor del Factor de amplificación promedio, a nivel de la rasante es  $F_{a_{promedio}} = 2.18$ . Igualmente se observaron valores máximo y mínimo general de 4.3 y 0.9 ubicados en las progresivas 2+233 y 0+442 respectivamente. Del gráfico se destaca una zona de singularidad por tener valores en promedio ( $F_a \sim 4.26$ ), relativamente más altos que el promedio general de la zona (2.18). Se ubica entre las progresivas 2+146 y 2+262 en proximidad de Morán Valverde y es asociado a la presencia de sedimentos blandos.

El promedio general para la capacidad de carga permisible a nivel rasante en esta zona corresponde a  $\sim 1.4 \text{ Kg/cm}^2$  con un mínimo de  $0.8 \text{ Kg/cm}^2$  ( $V_s = 183.5 \text{ m/s}$ ) hacia la progresiva 2+204, en correspondencia de sedimentos blandos en proximidad del estadio Aucas y un máximo local de  $2.50 \text{ Kg/cm}^2$  (progresiva 7+466). La tendencia general de zona es de un aumento gradual de capacidad de carga en dirección Sur-Norte, comenzando con una oscilación alrededor de los  $1.2 \text{ Kg/cm}^2$  hasta la progresiva 2+800, para terminar alrededor de  $1.6 \text{ Kg/cm}^2$  en promedio hacia el final de esta sección.

La rigidez máxima promedio para esta zona corresponde a  $1807.2 \text{ Kg/cm}^2$  con un mínimo de  $180.9 \text{ Kg/cm}^2$  hacia la progresiva 2+204 y un máximo local de  $6245.5 \text{ Kg/cm}^2$  (progresiva 7+466).

Sintéticamente se observan 5 zonas con singularidades/anomalías en velocidades de ondas de corte que se reflejan en valores menos favorables ingenierilmente a nivel de rasante. Estos parámetros, modificables para un análisis en función de requerimientos ingenieriles específicos, son capacidad de carga  $q_a$  menor de  $1 \text{ kg/cm}^2$ , bajos valores relativos de  $G_{max}$  y amplificación sísmica mayor. Los intervalos relativos a estas singularidades (con valor promedio de los 4 parámetros  $V_s$ ,  $G_{max}$ ,  $q_a$  y  $F_a$ ) son:

- 2+083 – 2+320 (entre Av. Moran Valverde y Estadio Aucas).  
 $V_s = 146 \text{ m/s}$ ,  $G_{max} = 430 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a = 0.63 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a = 3.63$
- 2+547 – 2+619 (Estadio Aucas)  
 $V_s = 197 \text{ m/s}$ ,  $G_{max} = 714 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a = 0.87 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a = 2.86$
- 4+480 – 4+700 (Solanda - Quebrada El Transito en proximidad de la intersección con el río Machangara)  
 $V_s = 220 \text{ m/s}$ ,  $G_{max} = 821 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a = 0.87 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a = 2.72$
- 5+132 – 5+344 (El Calzado)  
 $V_s = 217 \text{ m/s}$ ,  $G_{max} = 867 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a = 0.96 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a = 2.70$
- 6+351 – 5+490 (Río Machangara)  
 $V_s = 194 \text{ m/s}$ ,  $G_{max} = 697 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a = 0.85 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a = 2.90$

El comportamiento de los parámetros aquí descritos es reportado en forma de Tablas en el documento "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito" anexo al material del Producto 2.

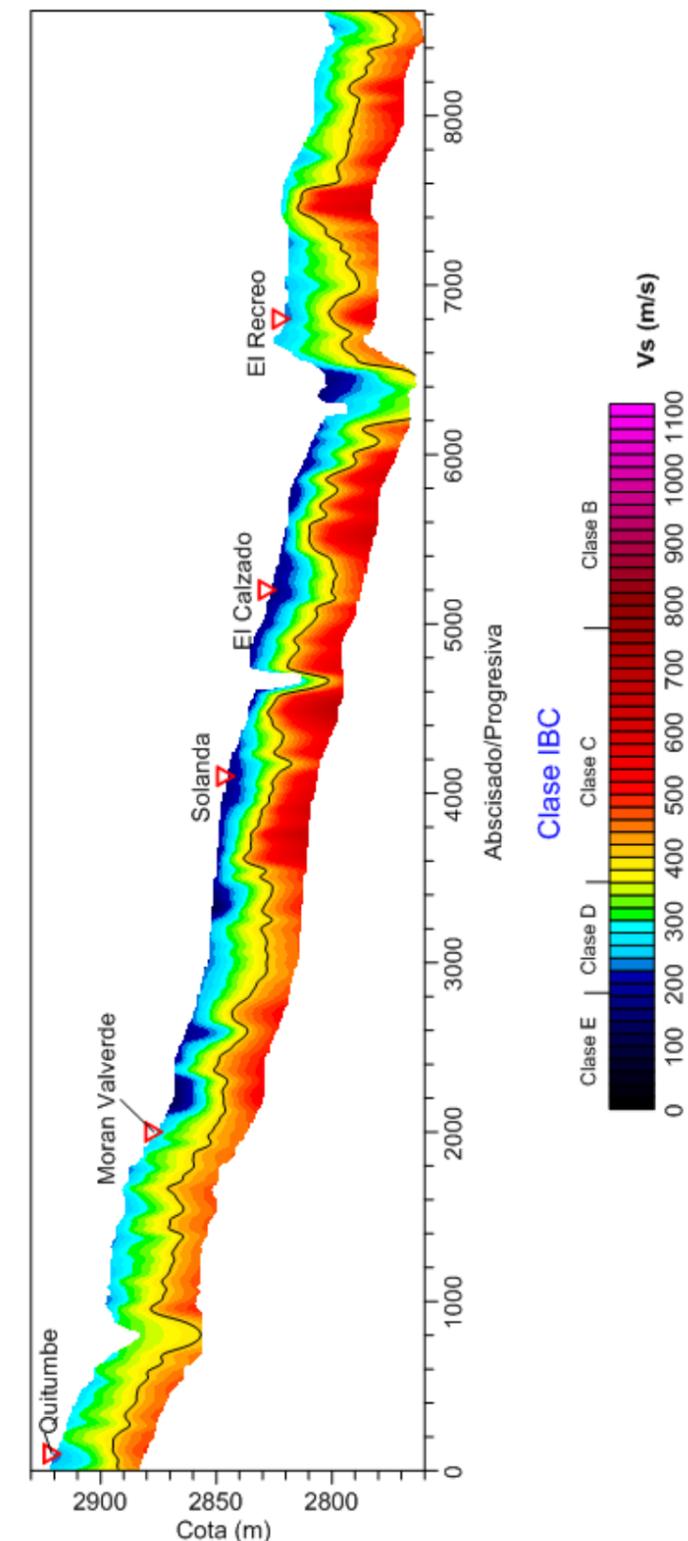


Figura 10: Zona Sur. Tomografía de Ondas de corte "Vs".

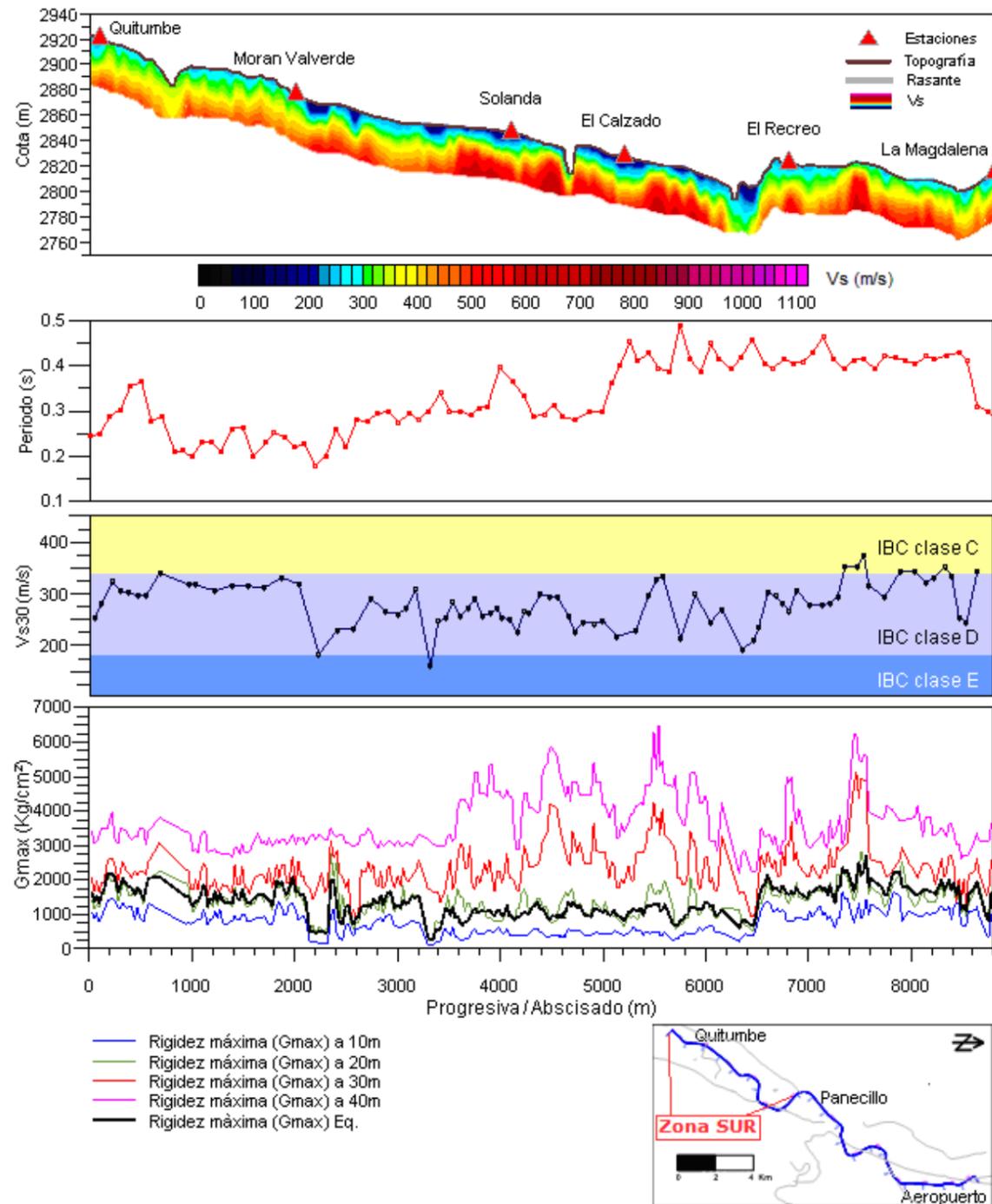


Figura 11: Zona Sur. Correlación de Topografía - Tomografía Vs, Periodo Fundamental, Vs30 - Clasificación de suelos IBC y Gmax.

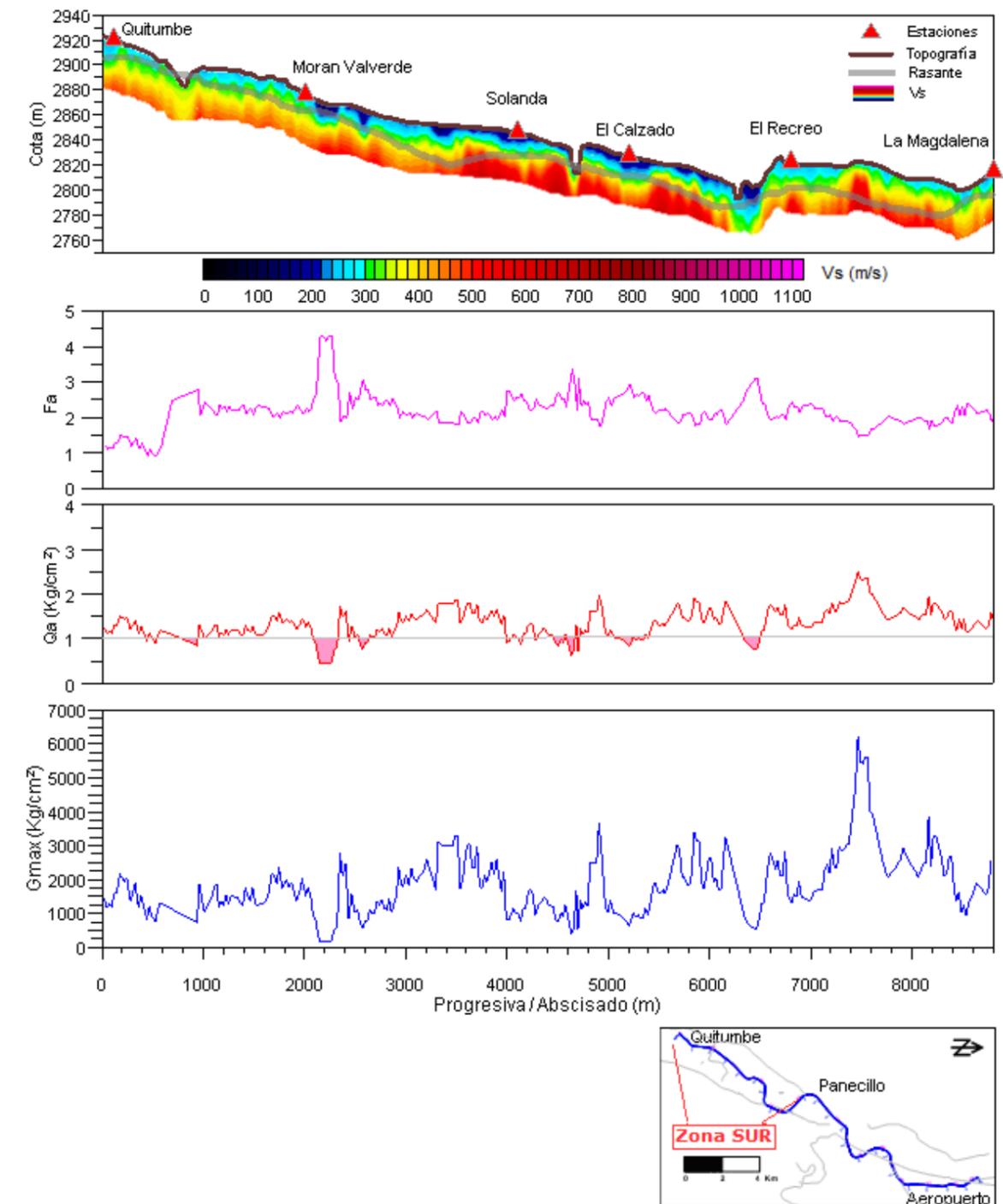


Figura 12: Zona Sur. Factor de Amplificación, capacidad de carga permisible y Rigidez máxima a nivel rasante.

### Zona Central (Abscisado 8+600-11+800)

Esta zona incluye datos adquiridos en forma tradicional (con cables) y sismógrafos inalámbricos. Los datos de estos últimos han sido procesados por Optim Software (desarrollador del método ReMi) en USA. Una representación global de la pseudo tomografía de ondas de corte para toda el área es presentada en la Figura 13 (notar que el color amarillo define la transición a suelo duro/densos según la norma IBC). La variación de la secuencia sismo estratigráfica puede ser evaluada en detalle en las secciones relativas como es definido en la Tabla 1.

Desde el punto de vista sismo estratigráfico se identifican hasta cuatro-cinco capas asociadas a sedimentos y productos volcánicos.

- La unidad más superficial se interpreta como material poco compactado (coluvión) y/o relleno con velocidades promedio de 238 m/s.
- El estrato siguiente se interpreta como material sedimentario más rígido y más compactado, con velocidad promedio de 339 m/s.
- Seguidamente se interpreta un estrato duro/denso con velocidades promedios de 426 m/s, asociado al substrato geotécnico, representado por sedimentos más antiguos o material de la formación Cangahua.
- Posteriormente se detecta un estrato con velocidad de onda de corte promedio de 530 m/s y, en la parte final de la secuencia, un substrato con velocidades 744 m/s < Vs < 1070 m/s, con un promedio de 829 m/s. Los valores observados en este último nivel, según normas de construcción sismo resistentes nacionales e internacionales, permiten su definición como "roca". Este substrato es detectado sólo en la parte del centro histórico donde se empleo la técnica inalámbrica como sistema de adquisición, lo que permitió alcanzar una profundidad de investigación mayor. Las velocidades mayores (Vs promedio=1062 m/s), han sido detectadas en las progresivas 10+520 y 10+700/800 a profundidades entre los 65 y 90m.

### Zona Central - Parámetros Dinámicos. Rigidez (G<sub>máx</sub>).

En la Figura 14, se muestra la correlación de G<sub>máx</sub> equivalente (definida por un intervalo de 40 m), detalles de G<sub>max</sub> a diferentes profundidades (10, 20, 30 y 40m), Periodo Fundamental y Topografía. En general, se observan 2 intervalos bien definidos por el comportamiento del valor de rigidez a las profundidades de interés.

- **Progresivas 8+600 - 9+360:** donde el valor promedio de rigidez equivalente es 1660.5 Kg/cm<sup>2</sup>, igualmente existe un valor máximo relativo de 2799.4 kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 9+350) y un mínimo relativo de 715.2 kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 8+972). Los valores a las profundidades de 10m y 20m siguen la misma tendencia del valor de rigidez equivalente mientras que el comportamiento es amplificado a los 30m y 40m presentando valores promedio de 2448.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 3569.4 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.
- **Progresivas 9+360 - 11+800:** aquí se registraron los valores mayores de rigidez equivalente de toda la ruta. Se distingue por presentar un valor de G<sub>máx</sub> equivalente mucho más estable, con un valor promedio de 1909.5 Kg/cm<sup>2</sup>, un valor máximo de 2530.0 Kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 10+460) y un mínimo relativo de 1484.2 Kgr/cm<sup>2</sup> (progresiva 11+000). Para las profundidades de 10m y 20m el parámetro de rigidez sigue el mismo patrón que el valor de rigidez equivalente, pero a la profundidad de 30m y 40m los valores muestran un aumento significativo con respecto al resto de la ruta en especial entre las progresivas 10+040 y 10+680, presentando valores máximos de 5016.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 6570.1 Kg/cm<sup>2</sup> y mínimo de 1978.1 Kg/cm<sup>2</sup> y 2645.4 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

### Zona Central - Vs30, Clasificación de Sitio y Periodo Fundamental

En la zona Central el promedio del valor de la Vs30 (ver perfil en Figura 14) resultó en ~323 m/s, lo que corresponde a un suelo tipo Clase **D** (perfil de suelo rígido, 180 m/s ≤ Vs ≤ 360 m/s, 15 ≤ N<sub>spt</sub> ≤ 50 y 0.5 ≤ Su (esfuerzo al corte en suelos no drenados, cohesión) ≤ 1 Kg/cm<sup>2</sup>).

Vs30 Máximo: ~471 m/s (progresiva 11+000), clase **C** (suelo muy denso, 360 m/s ≤ Vs ≤ 760 m/s, N<sub>spt</sub> > 50 y Su (esfuerzo al corte en suelos no drenados) > 1 Kg/cm<sup>2</sup>).

Vs30 Mínimo: 195 m/s (progresiva 8+972), clase **D**.

Los valores de Vs30 de esta zona que no parecen particularmente altos reflejan la presencia de una cobertura de material coluvial y de relleno superficial semi blando; se adiciona una formación Cangahua que, como es evidenciado en las perforaciones, parece no ser muy rígida en los primeros 30m.

El periodo fundamental evidencia valores relativamente bajos alrededor de 0.3 s. En el Panecillo, alrededor del abscisado 9+500-11+000, se observan los valores más bajos del estudio en asociación a una secuencia más rígida y la presencia de un substrato asociable a roca "sensu strictu" relativamente más superficial.

### Zona Central - Profundidad del Sustrato Geotécnico

El substrato geotécnico se ubica a profundidades entre 5.6m (Prog. 11+546) y 32.6m (Prog. 8+664), mientras la profundidad de la Vs400 m/s es ligeramente mayor (mínimo 6m en la progresiva 11+594 y máximo 33m en la progresiva 8+664).

### Zona Central - Rigidez, Capacidad de Carga Permisible (q<sub>a</sub>) & Factor de Amplificación (F<sub>a</sub>) a nivel rasante.

En la Figura 15 se muestran los valores de F<sub>a</sub>, q<sub>a</sub> y G<sub>max</sub> a nivel rasante para el intervalo de abscisado considerado. Notar que la rasante presentada en la gráfica es relativa a la primera información entregada por el consultor y puede no coincidir exactamente con la última ruta evaluada.

El valor del Factor de amplificación promedio, a nivel de la rasante es  $F_{a_{promedio}} = 1.8$ . Igualmente se observaron valores máximo y mínimo general de 2.7 y 1.2 ubicados en las progresivas 9+450 y 9+560 respectivamente. Del gráfico destaca una zona de singularidad por tener valores relativamente más altos que el promedio (F<sub>a</sub>=2.29). Esta zona se ubica entre las progresivas 9+200 y 9+600.

Con respecto a la capacidad de carga permisible se observa que el promedio general para esta zona corresponde a 2.1 Kg/cm<sup>2</sup> con un mínimo de 1.32 Kg/cm<sup>2</sup> al inicio de la zona central y valores superiores a lo 2 Kg/cm<sup>2</sup> entre 9+100 y 11779. Máximos relativos superiores a los 3 Kg/cm<sup>2</sup> son observados en los intervalos 9+400-9+650 y 10+386-10+900.

La Rigidez máxima promedio para esta zona corresponde a 3033.7 Kg/cm<sup>2</sup> con un mínimo de 956.3 Kg/cm<sup>2</sup> hacia la progresiva 8+536 y un máximo local de 6570.1 Kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 10+450).

El comportamiento de los parámetros aquí descritos es reportado en forma de Tablas en el documento "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito" anexo al material del Producto 2.

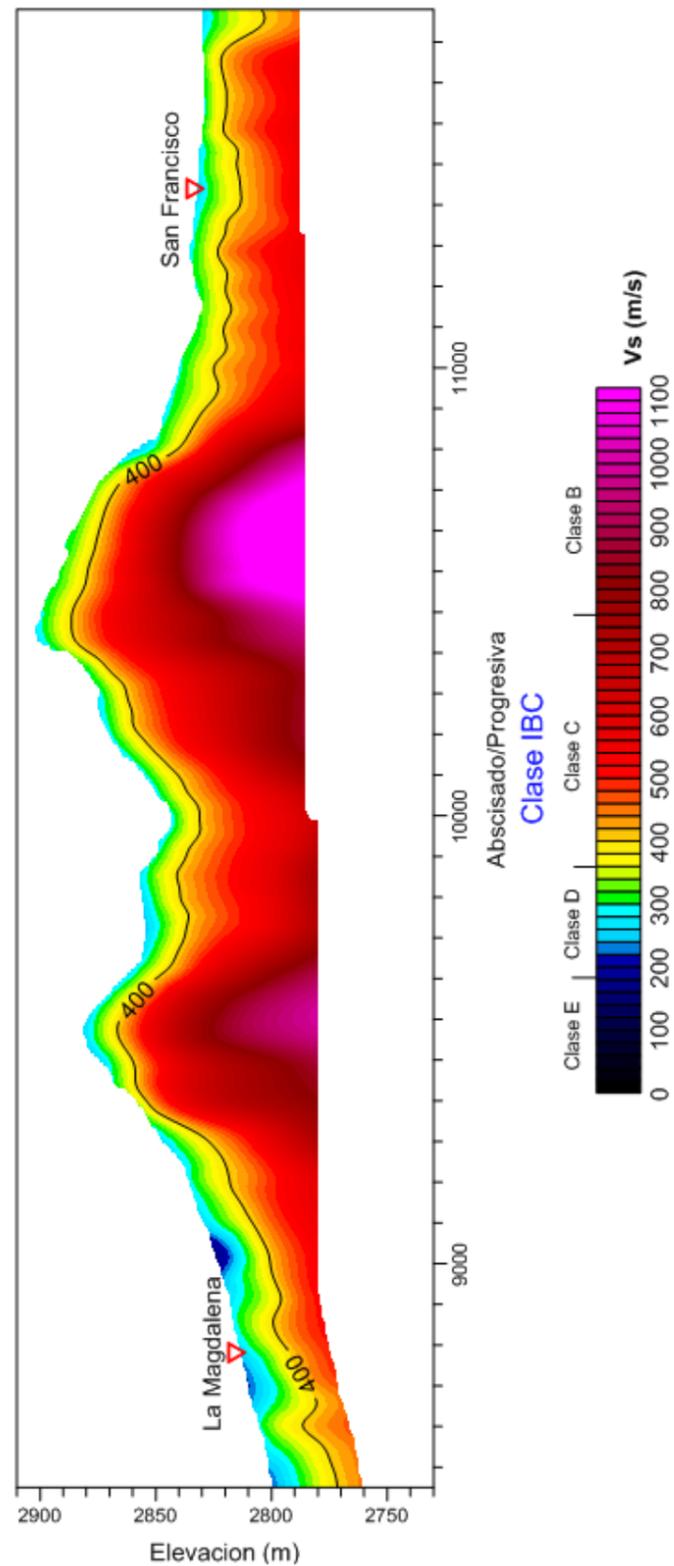


Figura 13: Zona Central. Tomografía de Ondas de corte "Vs".

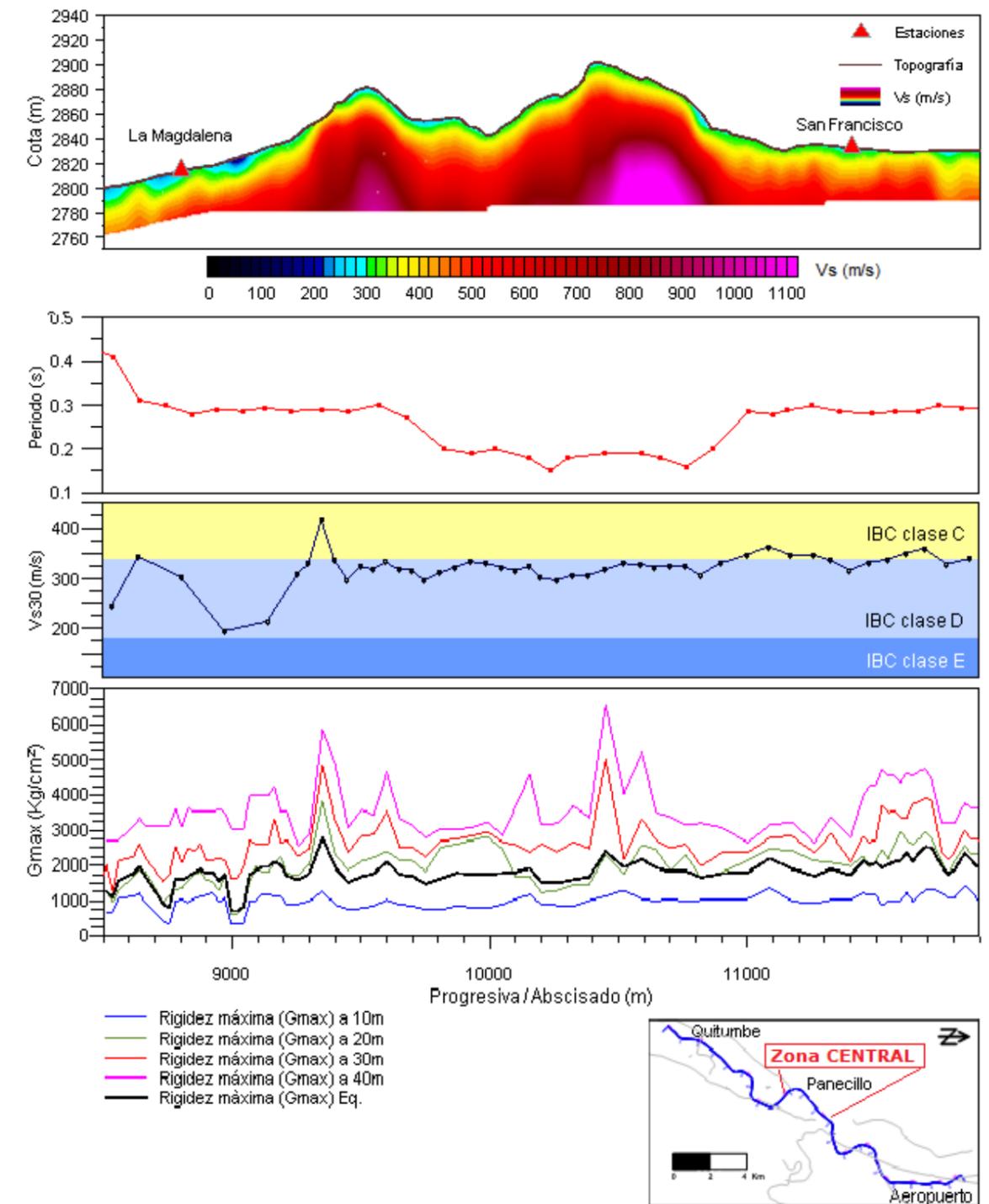


Figura 14: Zona Central. Correlación de Topografía - Tomografía Vs, Periodo Fundamental, Vs30 - Clasificación de suelos IBC y Gmax.

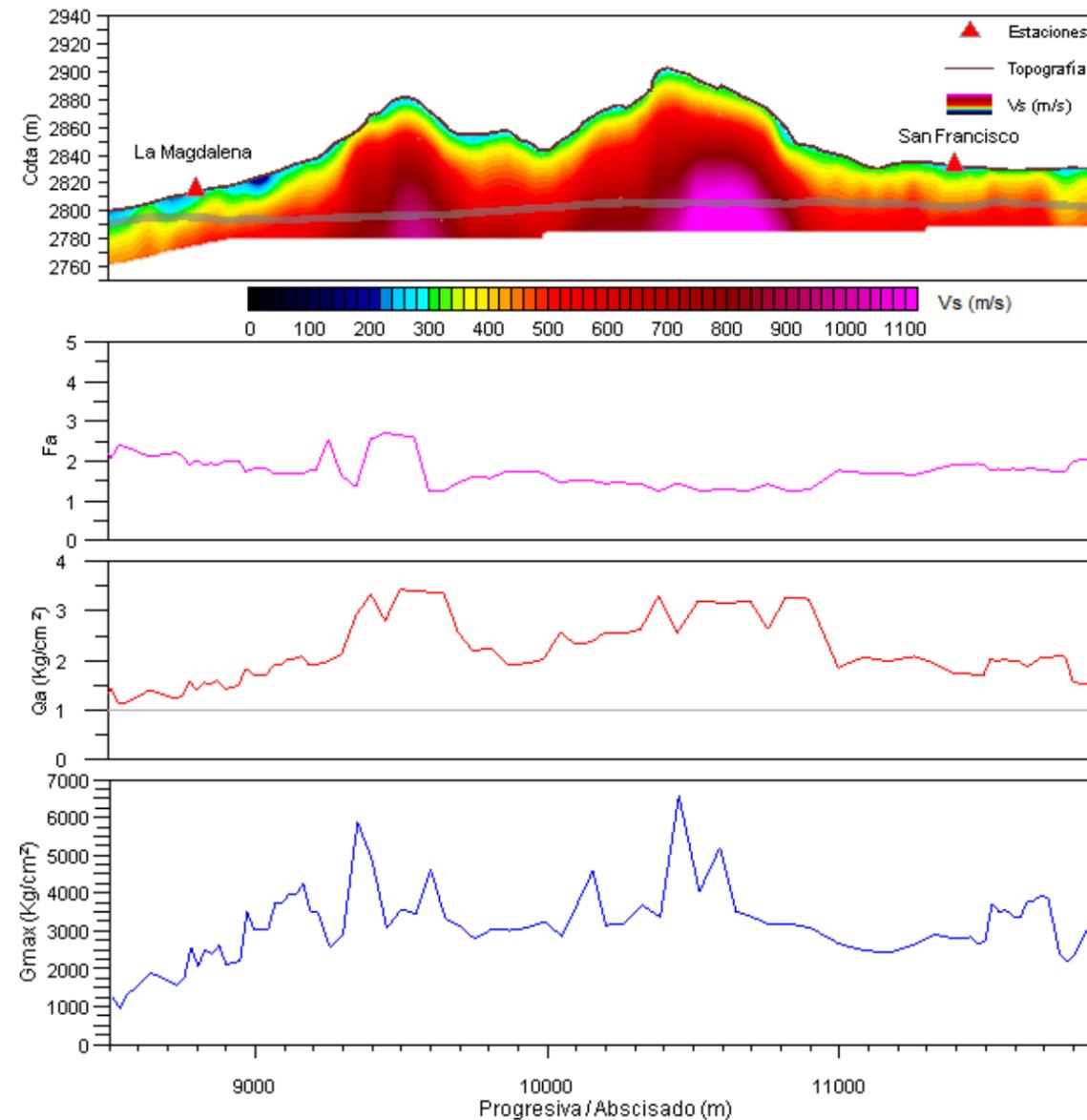


Figura 15: Zona Central. Factor de Amplificación, capacidad carga permisible y Rigidez máxima a nivel rasante.

### Zona Norte (Abcisado 11+800-22+130)

Una representación global de la pseudo tomografía de ondas de corte para toda el área es presentada en la Figura 16 (notar que el color amarillo define la transición a suelo duro/densos según la norma IBC). La variación de la secuencia sismo estratigráfica puede ser evaluada en detalle en las secciones relativas como definido en la Tabla 1.

Desde el punto de vista sismo estratigráfico se identifican hasta cuatro capas asociadas a sedimentos y a productos volcánicos.

- La unidad más superficial se interpreta como material suelto de relleno o sedimentos blandos – semi blandos/firmes con Vs promedio de 207.2 m/s ( $113.24 < Vs < 334\text{m/s}$ ). En la zona de la Carolina se encuentran sedimentos entre lo más blandos de toda la ruta (pero con espesores menores de 10m).
- El estrato siguiente corresponde a material aluvional más compactado/firme con velocidad Vs promedio de 317 m/s ( $222 < Vs < 390\text{ m/s}$ ).
- Seguidamente se observa un estrato duro/denso con velocidad Vs promedio de ~402 m/s. En la zona norte de la Carolina – Labrador la perforaciones permiten asociar este nivel con un nivel continuo de la formación Cangahua.
- En la parte final de la secuencia se encuentra un substrato muy duro-denso con velocidad Vs promedio de 493 m/s ( $410 < Vs < 582\text{ m/s}$ ).

### Zona Norte - Parámetros Dinámicos. Rigidez (Gmáx).

En la Figura 17, se muestra la correlación de Gmáx equivalente (intervalo de 40 m), detalles de Gmax a diferentes profundidades (10, 20, 30 y 40m), periodo fundamental y topografía. La zona norte, puede subdividirse en dos intervalos, con transición en el Ejido, con características definidas:

- **Progresiva 11+800 – 14+210:** presenta un valor de rigidez equivalente promedio de 1894.0 Kg/cm<sup>2</sup>, con un máximo y un mínimo relativo de 3132.7 Kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 12+384) y 1033.2 Kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 14+206) respectivamente.
- **Progresiva 14+210 – 22+130:** se distingue por presentar un valor promedio de 1450.0 Kg/cm<sup>2</sup> de rigidez equivalente con máximos y mínimos relativos de 600 Kg/cm<sup>2</sup> y 2749 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Con respecto a la profundidad, para las profundidades de 10m y 20m el comportamiento de la rigidez, es similar al del intervalo anterior mientras a los 30m y 40m se evidencia una rigidez mayor con promedios de 2953.7 Kg/cm<sup>2</sup> y 4578.5 Kg/cm<sup>2</sup> y máximos relativos de 4655.4 Kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 18+650) y 6117.2 Kg/cm<sup>2</sup> (progresivas 20+305 y 20+309) para los 30m y 40m respectivamente.

### Zona Norte - Vs30, Clasificación de Sitio y Periodo Fundamental

En la zona Norte el promedio del valor de la Vs30 (ver perfil en Figura 17) resultó en ~313 m/s, lo que corresponde a un suelo tipo Clase **D** (perfil de suelo rígido,  $180\text{ m/s} \leq Vs \leq 360\text{ m/s}$ ,  $15 \leq N_{spt} \leq 50$  y  $0.5 \leq Su$  (esfuerzo al corte en suelos no drenados, cohesión)  $\leq 1\text{ Kg/cm}^2$ ).

Vs30 Máximo: ~380 m/s (progresiva 12+360), clase **C** (suelo muy denso,  $360\text{ m/s} \leq Vs \leq 760\text{ m/s}$ ,  $N_{spt} > 50$  y  $Su$  (esfuerzo al corte en suelos no drenados)  $> 1\text{ Kg/cm}^2$ ).

Vs30 Mínimo: 253 m/s (progresiva 20+155), clase **D**.

Los valores menores de Vs30 (ver Figura 17 y 9) son observados en la parte norte a partir de la estación La Carolina hacia el aeropuerto como consecuencia de la presencia

superficial de sedimentos blandos de origen lacustre. El promedio de 295 m/s, mayor respecto al de la zona sur entre Morán Valverde y el Recreo (261 m/s), refleja un menor espesor de sedimentos blandos superficiales.

En relación a los periodos fundamentales los valores observados son relativamente bajos y homogéneos oscilando entre valores de 0.3s, al sur del Ejido, y 0.2-0.25 en la zona de La Carolina – Labrador. La discontinuidad en el Ejido es interpretada ser asociada a una estructura que marca el cambio entre dos ambientes geológicos como evidenciado por los perfiles de rigidez.

#### Zona Norte - Profundidad del Sustrato Geotécnico

El sustrato geotécnico se ubica a profundidades entre los 5 m y 26 m, mientras la profundidad de la Vs400 m/s a profundidades ligeramente mayores (entre 8 y 31m).

#### Zona Norte – Rigidez, Capacidad de Carga Permisible (qa) & Factor de Amplificación (Fa) a nivel rasante.

En la Figura 18 se muestran los valores de Fa, qa y gmax a nivel rasante para el intervalo de abscisado considerado. Notar que la rasante presentada en la gráfica es relativa a la primera información entregada por el consultor y puede no coincidir exactamente con la última ruta evaluada.

El valor del Factor de amplificación promedio a nivel de la rasante es  $Fa_{promedio} = 2.17$ . Igualmente se observaron valores máximo y mínimo general de 3.5 y 1.6 ubicados en las progresivas 19+102 y 15+001 respectivamente. Del grafico destacan 3 zonas con valores relativamente más altos que el promedio. Estas zonas se ubican entre las progresivas 17+800 y 18+000, 19+100 y 19+400 y 20+200 y 20+500.

Con respecto a la capacidad de carga permisible a nivel rasante se observa que el promedio general para esta zona corresponde a 1.38 Kg/cm<sup>2</sup> con un mínimo de 0.51 Kg/cm<sup>2</sup> hacia la progresiva 20+475 y un máximo local de 2.26 Kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 14+860).

La rigidez máxima promedio para esta zona corresponde a 2048.4 Kg/cm<sup>2</sup> con un mínimo de 297.7 Kg/cm<sup>2</sup> hacia la progresiva 20+425 y un máximo local de 5103.2 Kg/cm<sup>2</sup> (progresiva 14+860).

Sintéticamente se observan 4 zonas con singularidades/anomalías en velocidades de ondas de corte que se reflejan en valores menos favorables ingenierilmente a nivel de rasante. Estos parámetros, modificables en función de los requerimientos ingenieriles, son capacidad de carga qa menor de 1 kg/cm<sup>2</sup>, bajos valores relativos de Gmax y amplificación sísmica mayor. Los intervalos relativos a estas singularidades (con valor promedio de los 4 parámetros Vs, Gmax, qa y Fa) son:

- 17+813 – 18+146 (entre la estación la Carolina e Iñaquito).  
Vs=183 m/s, Gmax=649 Kg/cm<sup>2</sup>, qa=0.69 Kg/cm<sup>2</sup>, Fa=2.99
- 19+150 – 19+493 (estación Iñaquito)  
Vs=193 m/s, Gmax=827 Kg/cm<sup>2</sup>, qa=0.74 Kg/cm<sup>2</sup>, Fa=2.94
- 20+353 – 20+571 (estación Jipijapa)  
Vs=150 m/s, Gmax=622 Kg/cm<sup>2</sup>, qa=0.55 Kg/cm<sup>2</sup>, Fa=3.37
- 21+481 – 22+033 (aeropuerto)  
Vs=212 m/s, Gmax=860 Kg/cm<sup>2</sup>, qa=0.92 Kg/cm<sup>2</sup>, Fa=2.74

El comportamiento de los parámetros aquí descritos es reportado en forma de Tablas en el documento "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito" anexo al material del Producto 2.

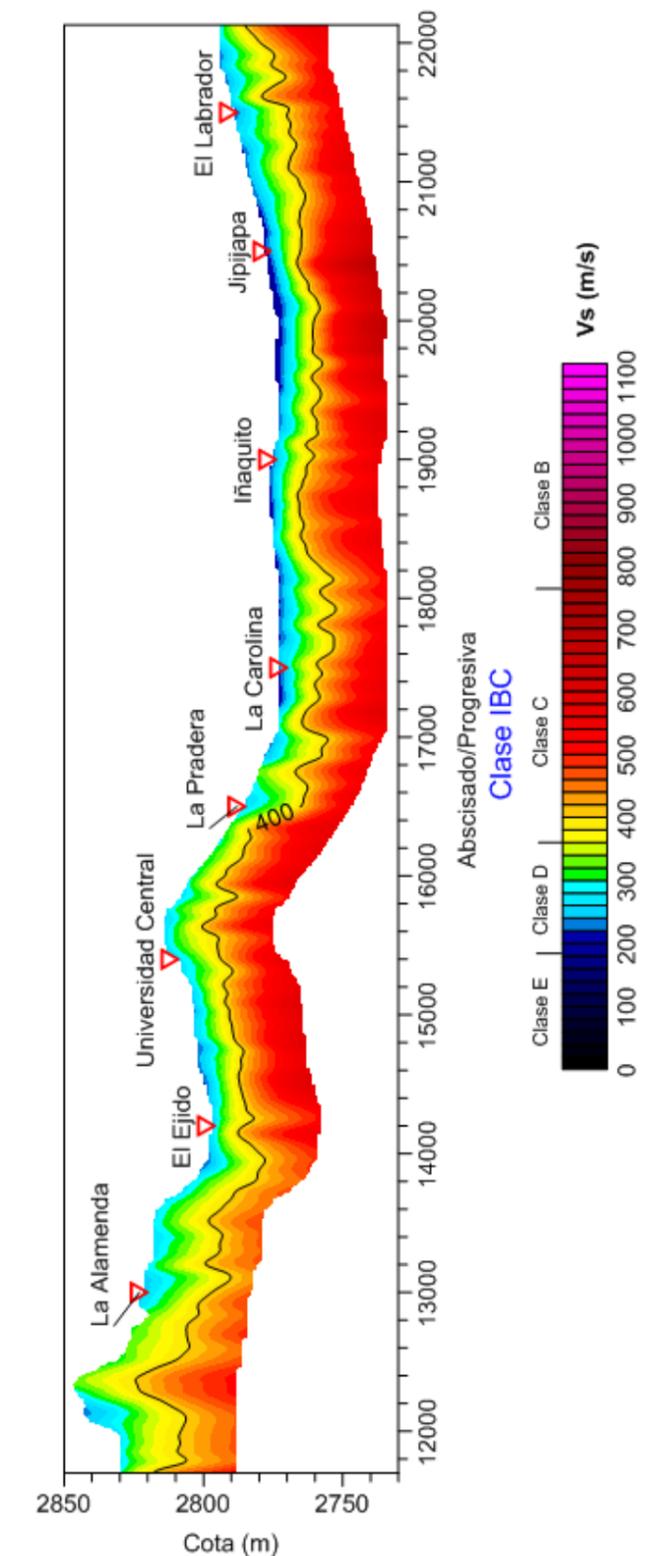


Figura 16: Zona Norte. Tomografía de Ondas de corte "Vs".

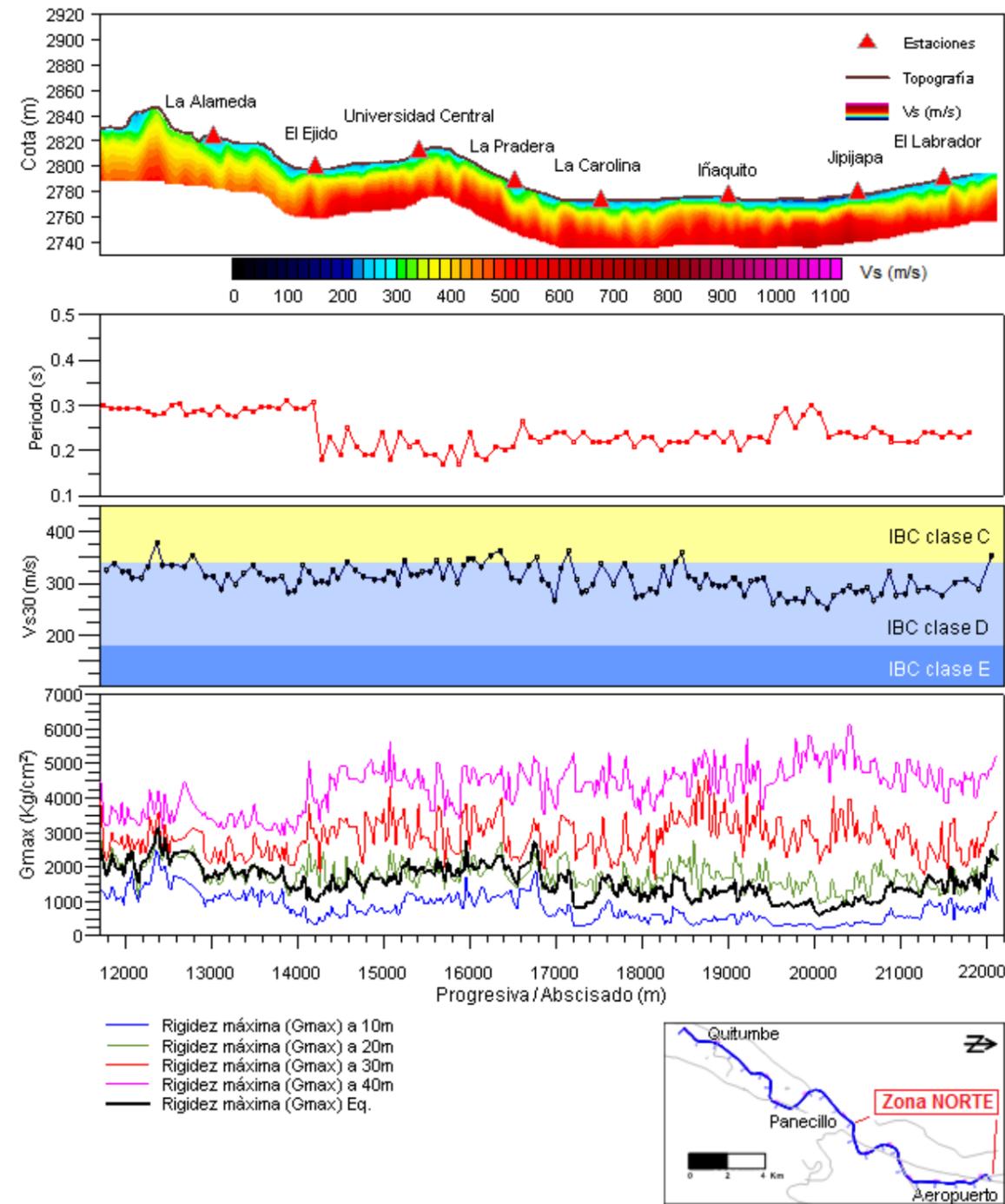


Figura 17: Zona Norte. Correlación de Topografía - Tomografía Vs, Periodo Fundamental, Vs30 - Clasificación de suelos IBC, y Gmax.

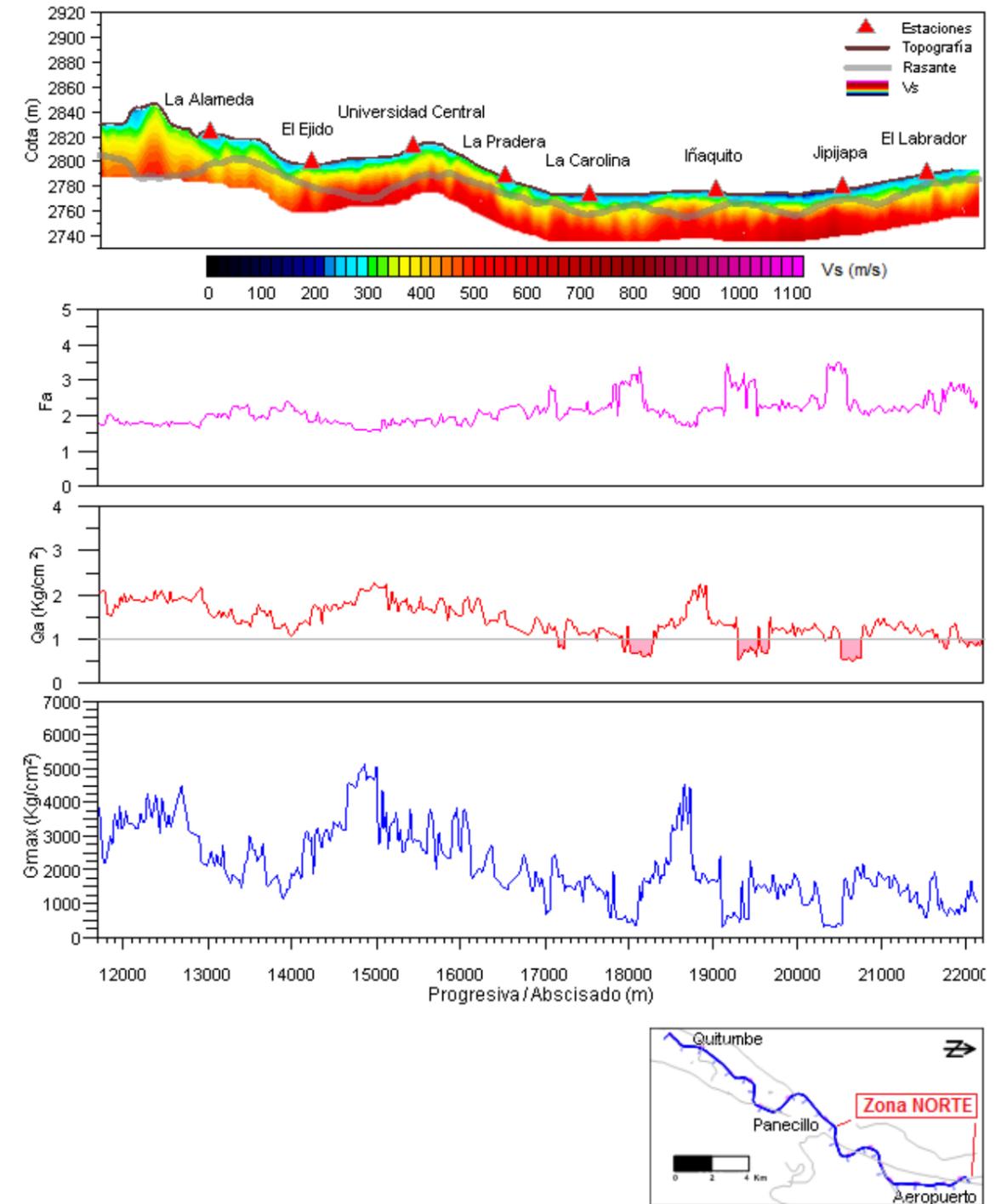


Figura 18: Zona Norte. Factor de Amplificación, capacidad carga permisible y Rigidez máxima a nivel rasante.

## 5. CONCLUSIONES

### Consideraciones generales

- Estratigrafía típica

Como es observado en los ensayos downholes se identifican tres grandes grupos de materiales que conforman el subsuelo en las profundidades de interés del presente proyecto, suelos residuales, rellenos y sedimentos recientes (Holoceno), sedimentos más antiguos (Pleistoceno?) y material volcánico asociado principalmente a la formación Cangahua. Más allá de una asociación estrictamente litológica se describirá sintéticamente el comportamiento de estas unidades en términos de sus propiedades sísmicas, velocidades de ondas de corte y rigidez.

#### 1. Holoceno.

- a. En superficie valores inferiores a los 250 m/s son observados en relación a suelos residuales y suelos blandos – semi blandos asociados a material poco compactado, rellenos y sedimentos de origen lacustre. El material más blando ( $V_s$  hasta menores de 100 m/s) y con espesores mayores (hasta 20m) es encontrado en la zona sur en correspondencia de la zona del estadio Aucas - Solanda - El Calzado - El Recreo. En la zona norte sedimentos blandos asociados a depósitos lacustres (formación La Carolina) son encontrados en la zona de las estaciones La Carolina, Ñaquito y Jipijapa con espesores de 5-10 m. Estos sedimentos lacustres coinciden con bajos morfológicos. En la parte de Quitumbe, a la base sur del Panecillo, en el centro histórico hasta la Pradera y en la zona de Plaza de Toros – aeropuerto se observan materiales superficiales más rígidos/firmes con  $V_s > 200$  m/s.
- b. A la base de la cobertura previamente descrita, especialmente en el sur, se observan sedimentos relativamente más compactados con velocidades de hasta unos 300-320 m/s aproximadamente.

2. Sedimentos más antiguos (Pleistoceno?). La razón de esta interpretación es relacionada al hecho que en las perforaciones, a pesar de una descripción litológica similar a sedimentos más superficiales menos rígidos, ensayos downholes y SPT reportan incrementos abruptos de velocidades y golpes  $N_{spt}$  a profundidades de 15-30 m en el sur y 10-20 m en el norte. Este material, con velocidades de ondas de corte mayores a 330 m/s y valores hasta los 500 m/s es asociado a material duro-denso ( $N_{spt} > 50$ ). Valores más altos de este nivel son observados en la zona sur a partir del abscisado 3+500 hasta la base del Panecillo y en el norte a partir del Ejido hasta El Labrador. Los valores de periodo fundamental confirman, con valores relativamente bajos, este fuerte contraste de impedancia ocurre a profundidades superficiales compatibles con las observadas en la sísmica. En estos sedimentos más antiguos los ensayos SPT corresponden a rechazo de golpes mientras los downholes muestran, según lo observado en todo el mundo, una estabilidad de las velocidades de ondas de corte en las capas investigadas, la rigidez en la práctica, se mantiene en el mismo nivel hasta el sucesivo cambio litológico.

3. Formaciones Volcánicas. A pesar que residuos volcánicos retrabajados son presentes en las secuencias sedimentarias descritas anteriormente, en este párrafo haremos referencia a unidades volcano-sedimentarias consolidadas asociadas a la formación Cangahua y eventuales productos lavicos. El comportamiento diferente a nivel geotécnico superficial de la formación Cangahua es asociado a diferentes condiciones como naturaleza, emplazamiento, consolidación/cristalización (notar que son unidades plio-pleistocénicas) y meteorización. En términos de ondas de

corte/rigidez se observan dos comportamientos en la unidad asociada en las perforaciones a la formación Cangahua. Uno relacionados a valores de alrededor 400 - 500 m/s en la parte norte (valores similares o inferiores a los de la parte basal de los sedimentos antiguos), y uno relacionados a valores más altos en la zona del Panecillo. En la zona del centro histórico, perfiles profundos de ondas de corte (adquiridos con sismógrafos inalámbricos) reportan valores de 700-800 m/s a profundidades de 50-100m. Esto según normas de construcción sismo resistente corresponde a la definición de roca. Cabe destacar que entre el abscisado 10+500 y 10+800 a profundidades de 60-90 m se observan valores mayores de 1000 m/s que parecen asociarse a otra unidad más rígida (según los resultados preliminares de la perforación SMQ-31, abscisado aproximado 10+650, este nivel se asociaría a lava andesítica).

Desde los perfiles de la Figura 9 y los mapas de las Figuras 10, 14 y 18 se puede observar lo siguiente:

- **Periodo Fundamental** Los periodos obtenidos a través de los estudios de vibraciones naturales varían entre 0.15s y 0.46s. Estos periodos relativamente bajos son correlacionados con una capa resonante superficial relativamente poco espesa de suelos y sedimentos semi blandos por encima de un substrato más rígido, duro/denso, con un marcado contraste de impedancia en su transición. Cabe destacar que, en lugares de la parte norte, el primer análisis de datos downhole reporta velocidades de ondas de corte en la parte basal de los sedimentos (asociados a Pleistoceno) mayores de las velocidades de la formación definida como Cangahua. Por lo tanto los valores de periodos observados no son asociados al contraste sedimentos – roca (como en el caso de sedimentos holocénicos sobre un basamento rocoso) sino a un contraste de impedancia entre sedimentos recientes y antiguos y/o sedimentos suelos/sedimentos recientes y substrato asociado a la formación Cangahua. Las profundidades asociadas a los valores de periodo fundamental son compatibles con las del substrato geotécnico definido en el presente estudio. Solamente en el sur, en el análisis espectral de los periodos, se observan picos relacionados a periodos mayores (~1s) y a contrastes mas profundos.

- **Vs30 - Clasificación Suelos**

Casi todo el perfil puede ser genéricamente clasificado como **D**, suelos rígidos,  $180 < V_{s30} \leq 360$  m/s,  $15 \leq N_{spt} \leq 50$  y  $0.5 \leq S_u \leq 1$  kg/cm<sup>2</sup>.

En la parte sur, 2+200–6+500, se observan valores ( $V_{s30}$ ~250 m/s) tendientes a los límites inferiores de la clase. Un valor perteneciente a la clase E ( $V_{s30}$ =160 m/s) es observado en Solanda (3+320) y uno muy próximo a este ( $V_{s30}$ =186 m/s). La norma IBC define esto como suelos suaves  $V_{s30} < 180$  m/s,  $N_{spt} < 15$ ,  $S_u$  (cohesión)  $< 0.5$ kg/cm<sup>2</sup> y prevé estudios especiales (microzonificación sísmica grado 3). Otros valores de  $V_{s30}$  particularmente bajos, por debajo o alrededor de 200 m/s, se encuentran en 2+233 (183 m/s) hasta 2+571 (233 m/s), 5+132 (217 m/s) hasta 5+320 (229 m/s), en el intervalo 6+351 – 6+514 (192-235 m/s) y en el intervalo 8+972-9+140 (195-214 m/s).

En la parte central (Panecillo) algunos valores son asociados a la clase C suelos duros densos,  $360 < V_{s30} \leq 720$ ,  $N > 50$  y  $S_u > 1$ , y la mayoría de los otros son próximos al valor de transición (360 m/s) entre la clase D y C.

En la parte norte, a comprobación de una rigidez mayor del perfil investigado en respecto a la parte sur, se observan valores de  $V_{s30}$  alrededor de 330 m/s hasta la Pradera y ligeramente inferiores (~290 m/s) en la parte norte debido a los sedimentos blandos de La Carolina.

▪ Profundidad Substrato Geotécnico / Vs400 m/s

El substrato geotécnico, transición a unidades duras/densas (Vs>330-360 y Nspt>50) es observado a profundidades promedio de 18.9 m en la parte sur, 14.9 m en la zona central y 14.3 m en la parte norte.

Para el diseño de la rasante y del túnel, la profundidad de este nivel tendría que ser considerado conjuntamente a las características lito-geotécnicas y la presencia de discontinuidades laterales.

El nivel Vs=400 m/s mencionado por la norma ecuatoriana es encontrado a profundidades mayores al substrato antes mencionado (unos 4 m en promedio) y no parece representar una indicación ingenieril práctica para la obra.

▪ Discontinuidades Laterales

Dos discontinuidades particularmente evidentes en los datos geofísicos corresponden con lineamientos estructurales observables en mapas topográficos y sensores remotos. Una es en correspondencia del río Machangara en proximidad del Recreo (abscisado ~ 6+500) donde una estructura aproximadamente NNE-SSO corresponde con bajas velocidades sísmicas, y la otra se observa en la zona del Egido donde una estructura aproximadamente EO corresponde con un claro cambio de patrones geofísicos. Otras estructuras son inferidas en proximidad de la Magdalena (~8+740) en correspondencia de una estructura NE-SO y alrededor del abscisado 9+015 donde, en un entorno esperado como rígido, se observan valores bajos de Vs (y Vs30).

Desde el análisis en detalle:

▪ Suelos Blandos & Singularidades Superficiales

Suelos blandos son definidos como material con Vs<180-210 m/s, correspondientes a Nspt<7-12 (según Imai & Tonuchi, 1982).

En la zona **SUR** (0+000 - 8+600) suelos blandos son observados en superficie desde la progresiva / abscisado 2+120 a 6+520 en correspondencia de las primeras dos capas. La siguiente Tabla 3 detalla las singularidades/anomalías observadas.

Sección	Intervalo		Vs Sup m/s	Espesor Sup m	Espesor SG m	Comentarios
	Inicio	Fin				
MQL1-SP 2050-2600	2+120	2+330	99-195	14-16	24-26	SB
	2+550	2+600	150-200	15-18	26	SB
MQL1-SP 2550-3100	2+550	2+620	149-205	16-18	26-28	SB
MQL1-SP 3050-3600	3+300	3+490	73-210	12-17	25-26	SB
MQL1-SP 4550-5100	4+600	4+670	150-180	7-10	17-19	quebrada-rio
MQL1-SP 5050-5600	5+130	5+250	150-210	18-20	30-32	SB-R
MQL1-SP 6050-6600	6+200?	6+520	110-210	10-19	24-29	SB Machangara
MQL1-SP 8050-8600	8+480	8+560	190-200	12-13	32-33	

Vs sup Vs capa (s) superficiales. Suelos Blandos con Vs <180/210 m/s, equivalentes a Nspt<7-12 (Imai & Tonuchi 1982)  
 Espesor Sup Espesor capa (s) superficiales con Vs <200/210 m/s  
 Espesor SG Profundidad Substrato Geotécnico  
 R= Relleno  
 SB = Suelos Blandos

Tabla 3. Zona Sur. Singularidades/Anomalías de velocidades de ondas de corte

En la zona **CENTRAL** (8+600 - 11+800) suelos relativamente blandos son observados en superficie en correspondencia de los puntos detallados en la siguiente Tabla 4.

Sección	Intervalo		Vs Sup m/s	Espesor Sup m	Espesor SG m	Comentarios
	Inicio	Fin				
MQL1-SP 8550-9100	8720	8760	135-154	8-12	32-33	R-Q?
	9000	9030	135-187	17	29	R-Q?
MQL1-SP 14050-14600	14110		149	5.5	15	Q?
	14255		177	6	19	Q?

Vs sup Vs capa (s) superficiales. Suelos Blandos con Vs <180/210 m/s, equivalentes a Nspt<7-12 (Imai & Tonuchi 1982)  
 Espesor Sup Espesor capa (s) superficiales con Vs <200/210 m/s  
 Espesor SG Profundidad Substrato Geotécnico  
 Q = Quebrada  
 R = Relleno  
 SB = suelos blandos

Tabla 4. Zona Central. Singularidades/Anomalías de velocidades de ondas de corte

En esta zona, como singularidad/anomalía, se puede mencionar la ocurrencia de los valores de Vs más altos de todo el estudio. Valores de alrededor de los 1000 m/s son observados a 60-90 m de profundidad entre las progresivas 10+520 y 10+700/800. La perforación SMQ31 Reporta la ocurrencia de lavas andesítica a los 67 m de profundidad.

En la zona **NORTE** (11+800 - 22+130) suelos blandos son observados en superficie en correspondencia solamente de la primera capa que se observa por encima de un substrato con Vs>270-300 m/s. La siguiente Tabla 5 detalla las singularidades/anomalías observadas. Se puede observar como el espesor de la capa superficial blanda sea inferior de la secuencia observada en el sur.

Sección	Intervalo		Vs Sup m/s	Espesor Sup m	Profundidad SG m	Comentarios
	Inicio	Fin				
MQL1-SP 16550-17100	16+870	17+020	180-210	7.5-9	18-23	R?
MQL1-SP 17050-17600	17+220	17+500	137-180	5.6-7.6	13-18	SB?
	17+660	17+770	180-200	5-8	18	R-SB?
MQL1-SP 17550-18100	17+870	18+100	160-190	6-7	18-19	R-SB?
	18+050	18+340	140-190	5.6-7.2	14-18	SB?
MQL1-SP 18050-18600	18+050	18+340	140-190	5.6-7.2	14-18	SB?
MQL1-SP 18550-19100	18+550	19+100	130-185	5.2-7.2	12-17	SB? Carolina
MQL1-SP 19050-19600	19+290	19+600	135-190	7-10	14-19	SB? Carolina
MQL1-SP 19550-20100	19+550	20+100	113-153	5.8-8.2	14-18	SB? Carolina
MQL1-SP20050-20600	20+050	20+600	110-170	6-9	13-17	SB? Carolina
MQL1-SP20550-21100	20+550	20+810	144-166	5.6-8.6	14-17	SB? Carolina
MQL1-SP21050-21600	20+110	21+250	160-180	6-7.2	17-20	R?

Vs sup Vs capa (s) superficiales. Suelos Blandos con Vs <180/210 m/s, equivalentes a Nspt<7-12 (Imai & Tonuchi 1982)  
 Espesor Sup Espesor capa (s) superficiales con Vs <200/210 m/s  
 Espesor SG Profundidad Substrato Geotécnico  
 R= Relleno  
 SB = Suelos Blandos

Tabla 5. Zona Norte. Singularidades/Anomalías de velocidades de ondas de corte.

Se hace notar que las velocidades superficiales más bajas pueden presentar, en condición de saturación de las formaciones arenosas y una sollicitación sísmica específica, peligro de licuación. Este aspecto tendría ser evaluado con modelado dinámico en el caso se planifiquen estructuras superficiales y estaciones en las zonas mencionadas, o se quiera contribuir a la evaluación de la amenaza geo sísmológica en la zona.

▪ Anomalías & Singularidades a Nivel Rasante

Teniendo en consideración la rasante preliminarmente disponible al iniciar el presente proyecto, desde el estudio sísmico de ondas de corte se derivaron una serie de parámetros a este nivel (cota central del túnel). Desde el análisis de los datos se observan diferentes zonas con singularidades/anomalías en velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) que se reflejan en valores menos favorables ingenierilmente a nivel de la rasante. Estos parámetros (modificables en función de los requerimientos ingenieriles), ligados a valores de  $V_s$  relativamente bajos, son capacidad de carga  $q_a$  menor de  $1 \text{ kg/cm}^2$ , bajos valores relativos de  $G_{max}$  y amplificación sísmica mayor. Los intervalos relativos de estas singularidades (con valor promedio de los 4 parámetros  $V_s$ ,  $G_{max}$ ,  $q_a$  y  $F_a$ ) son:

Zona Sur

- 2+083 – 2+320 (entre Av. Moran Valverde y Estadio Aucas).  
 $V_s=146 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=430 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.63 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=3.63$
- 2+547 – 2+619 (Estadio Aucas)  
 $V_s=197 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=714 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.87 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=2.86$
- 4+480 – 4+700 (Solanda - Quebrada El Transito)  
 $V_s=220 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=821 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.87 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=2.72$
- 5+132 – 5+344 (El Calzado)  
 $V_s=217 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=867 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.96 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=2.70$
- 6+351 – 5+490 (Río Machangara)  
 $V_s=194 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=697 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.85 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=2.90$

Zona Norte

- 17+813 – 18+146 (entre la estación la Carolina e Iñaquito).  
 $V_s=183 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=649 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.69 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=2.99$
- 19+150 – 19+493 (estación Iñaquito)  
 $V_s=193 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=827 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.74 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=2.94$
- 20+353 – 20+571 (estación Jipijapa)  
 $V_s=150 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=622 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.55 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=3.37$
- 21+481 – 22+033 (aeropuerto)  
 $V_s=212 \text{ m/s}$ ,  $G_{max}=860 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $q_a=0.92 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $F_a=2.74$

Resultados de las perforaciones y nuevos estudios específicos (como ensayos downholes, modelado dinámico para la evaluación de la aceleración horizontal a nivel rasante, etc.) tendrían que ser integrados al presente estudio para evaluar la factibilidad y costos relativos de modificar la rasante.

**Recomendaciones**

Ruta.

Se recomienda proceder a evaluaciones de la posibilidad de ejecución de estudios específicos de riesgos (licuación, respuesta sísmica local / amenaza, interacción suelo-estructura, afectación vibraciones a estructuras y personas,.....) en las singularidades mencionadas a fin de evaluar la posible interacción entre la componente geológica/geotécnica evidenciada en este trabajo, las realidades sociales y urbanísticas (elemento que será más claro al terminar los estudios de afectación y ambiental) y las necesidades ingenieriles. Eventualidad de estudios adicionales tendrían que ser evaluadas también para estructuras esenciales e históricas.

Nivel Rasante.

Se tendría que elaborar la correlación entre los resultados de este reporte y la rasante definitiva al fin de optimizar la contribución de este estudio a la ingeniería del proyecto.

## REFERENCIAS

- Barton, N., 2006. *Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation And Anisotropy* (Hardcover), CRC Press.
- Barton, N. (2007) "Near-surface gradients of rock quality, deformation modulus,  $V_p$  and  $Q_p$  to 1 Km depth" EAGE, Technical Article, First Break, Vol. 25, October, 2007.
- Fahey M. y Carter J.P. (1993). "A finite element study of the pressurometer in sand using non-linear elastic plastic model", Canadian Geotech. Jour., 30: 348-362.
- Ho Cha, Y, Kang, J. (2006). "Application of linear-array microtremor surveys for rock mass class classification in urban tunnel design". Butsuri-Tansa, 59, Exploration Geophysics, 37, Pag. 108-113.
- Imai, T. and Tonuchi, K.: 1982, Correlation of NSPT Value with S-Wave Velocity and Shear Modulus, Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, 24-27 May.
- Inazaki, T., "Relationship between S-Wave Velocities and Geotechnical Properties of Alluvial Sediments". Public Works Research Institute, Tsukuba, JAPAN
- Kobayashi, H., K. Seo and S. Midorikawa (1986). "Estimated strong ground motions in the Mexico city due to the Michoacán, Mexico earthquake of September 19, 1985 based on characteristics of microtremor". Part 2, Report on seismic microzoning studies of the Mexico earthquake of September 19, 1985, The Graduate School of Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan.
- Kramer S. L. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, 1995.
- Jones, R.B.; "In-situ measurement of the dynamic properties of soil by vibration method". Geotechnique 8 (1), pp 1-21.
- Louie, J. 2001. "Refraction Microtremor (ReMi) field tutorial 30-meter shear velocity with two hours effort". Optim LLC.
- Mayne P.W. (2001). "Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced insitu tests", Proc. Int. Conf. on In-Situ Measurements of Soil Properties and Case Histories, Bali, Indonesia, 27-48.
- Mayne website downloadable papers: [Dr. Paul Mayne: Downloadable Papers](#)
- Salvador Lazcano Diaz del Castillo. (2007). "Caracterización de suelos arenosos mediante análisis de ondas de superficie".
- Nazarian S. y Stokoe K.H. (1984). "In Situ Shear Wave Velocities From Spectral Analysis of Surface Waves", Proc. 8th World Conf. on Earthquake Engr., San Francisco, California, III: 31-38.
- Massarsch 1984 <http://www.geoforum.com/knowledge/texts/compaction/index.asp>
- <http://www.miniape.com/Documents/Settlements%20and%20damage%20caused%20by%20construction%20induced%20vibrat.pdf>
- [https://mail.google.com/mail/?ui=2&view=js&name=main,tlist&ver=XqNrJ19ayEQ.es.&am=!QOoT6kuBunO7Qv3h9Nsmwhifj41UgvHGU8lcRAFELv\\_bDNnHcLn3NhJBGr&fr](https://mail.google.com/mail/?ui=2&view=js&name=main,tlist&ver=XqNrJ19ayEQ.es.&am=!QOoT6kuBunO7Qv3h9Nsmwhifj41UgvHGU8lcRAFELv_bDNnHcLn3NhJBGr&fr)
- Redpath B. 1973, *Seismic refraction exploration for engineering Site Investigations*, Technical Report E-73-4, U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station, Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California.
- Santamarina, J. C., K. A. Klein, A. F. Moheb. *Soils and Waves: Particulate Materials Behavior, Characterization and Process Monitoring*. John Wiley & Sons, 2001.
- Sjögren B., Øvsthus A. and Sandberg J. (1979): Seismic classification of rock mass qualities. Geophysical Prospecting, Vol. 27, No. 2, pp. 409 - 442.
- Stokoe II, K., 2007 Field Seismic Testing in Geotechnical Earthquake Engineering, in Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, Volume 6, Chapter 7.
- Tezcan, S, A. Kecely y Z. Ozdemir. 2006. "Allowable bearing capacity of shallow foundations based shear wave velocity". Geotechnical and Geological Engineering. Volumen 24. p: 203-218
- Towhata Ikuo, 2009. "Geotechnical Earthquake Engineering" (Springer Series in Geomechanics and Geoengineering)

## 7. DECLARACION DE CALIFICACION

Aldo Cataldi, italiano, residente en Caracas Venezuela, certifica que:

1. Me gradué con el título de Master (Geología) en la Universidad de Pisa, Italia (1985).
2. Tengo un título de Master en Ingeniería Geofísica de la Escuela de Minas de Colorado, EE.UU. (1990).
3. Soy el Presidente de T.R.X. Consulting C.A., una compañía especializada en consultorías de servicios de exploración & ingeniería.
4. He practicado mi profesión con actividades de consultoría en ciencias de la tierra desde el 1985 y he aplicado la geofísica y la integración de métodos geo científicos en diversos países de America, África, Europa y Asia.
5. Soy el autor del presente reporte.
6. Supervisé a la etapa de adquisición, control de calidad - validación de los datos, el procesamiento & interpretación de los mismos y soy el autor de este reporte. Los resultados mostrados aquí representan mi mejor opinión y juicio, basado en la información disponible al momento de escritura de dicho reporte.

Realizado en Quito - Ecuador, el 23 de Diciembre de 2011.



Aldo Cataldi, M.Sc.

# ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE RUTA CON MÉTODOS GEOFISICOS NO INVASIVOS PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO

UNIDAD DE NEGOCIOS METRO QUITO (UNMQ)

CLCC-UNMQ-2011-009

Segundo Producto

RESPUESTA SÍSMICA LOCAL

Producto 2\_RSL-F1.1

CONSORCIO GRIFFMETAL-TRX Consulting C.A.

Quito, Diciembre 23 de 2011

## LISTA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. DESCRIPCION GENERAL DEL ESTUDIO .....	5
2.2 Objetivo .....	5
2.3 Normas y Procedimientos de Referencia .....	5
3. RESPUESTA SISMICA LOCAL (RSL) .....	7
3.1 Vs30.....	8
3.2 Profundidad Vs=400 m/s .....	8
3.3 Factor de amplificación Fa .....	8
3.4 Periodo Fundamental .....	8
3.5 Analisis Determinista y Evaluación Especifica de Sitio .....	11
3.5.1 Escenario Sísmico y Selección del Sismo de Referencia.....	11
3.5.2 Curvas de Atenuación NGA .....	11
3.5.3 Sismo de Proyecto .....	14
3.5.4 Modelado dinámico, definición espectro de respuesta superficial y correlación con Normas Nacionales. ....	15
4. EVALUACIÓN DE PERFILES DE ONDAS DE CORTE PROFUNDOS .....	20
5. CONCLUSIONES.....	23
6. REFERENCIAS.....	25
7. DECLARACION DE CALIFICACION .....	26

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1.1. Esquema estudio de caracterización sísmica (PEER). Disciplinas, roles y puntos de decisiones.	4
Figura 2.1 Ubicación del Estudio. Quito, Ecuador	6
Figura 3.1 Topografía y tomografía de ondas de corte, periodo fundamental, Vs30 y Factor de amplificación.	10
Figura 3.2 Curvas de atenuación de la aceleración máxima horizontal para sismo de intensidad 8.4 en roca (a) y en superficie (b).	12
Figura 3.3. Curva de atenuación de la aceleración máxima horizontal para sismo de intensidad 7.3 en roca y en superficie.	13
Figura 3.4. Curvas de atenuación de la aceleración máxima horizontal para sismo de intensidad 6.5 en roca (a) y en superficie (b).	13
Figura 3.5. Duración del sismo de referencia, en función de la distancia del sitio a la fuente sísmica.	14
Figura 3.6. Características de la forma del espectro de respuesta de cada autor para el caso de los escenarios estudiados [lejano (a) intermedio (b) y cercano (c)].	15
Figura 3.7. Espectro de respuesta para las unidades superficiales y tope del sustrato geotécnico, obtenido del análisis dinámico para le caso de sismo a distancias de (a) 200km, (b) 80km y (c) 25Km; zona Quitumbe.	17
Figura 3.8. Espectro de respuesta para las unidades superficiales y tope del sustrato geotécnico, obtenido del análisis dinámico para le caso de sismo a distancias de (a) 200km, (b) 80km y (c) 25Km; zona Av. Amazonas.	18
Figura 3.9. Espectro de respuesta para las unidades superficiales y tope del sustrato geotécnico, obtenido del análisis dinámico para le caso de sismo a distancias de (a) 200km, (b) 80km y (c) 25Km; zona Plaza de Toros.	19
Figura 4.1. Modelo 1D del perfil de Velocidades de Onda de Corte en Profundidad – Zona Sur / Quitumbe.	21
Figura 4.2. Modelos 1D del perfil de Velocidades de Onda de Corte en Profundidad. Zona Norte / La Carolina.	22

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Parámetros geofísicos y ubicación de las zonas donde se ejecutó el modelado dinámico.	8
Tabla 2. Características de los posibles escenarios sísmicos en el área de estudio.	11
Tabla 3. Valores de PGA en superficie y en roca de acuerdo a las curvas de atenuación para cada escenario.	12
Tabla 4. Características de las estaciones de registro del sismo real.	14
Tabla 5. Perfil del subsuelo usado para el modelado dinámico.	15
Tabla 6. Ubicación de los perfiles de Onda de Corte profundo. UTM - SIRES	20
Tabla 7. Síntesis Aceleraciones Horizontales en función de diferentes escenarios	24

**1. INTRODUCCIÓN**

La caracterización de sitio previo a la construcción de estructuras presenta un rol fundamental en la optimización de la ingeniería, tanto en términos de costos como en la prevención de los riesgos asociados a las características del sitio (sismicidad, licuación, presencias de cárcavas, arcillas expansivas, etc.). Para este fin, diferentes métodos no invasivos pueden ser usados en función del entorno a investigar. Los métodos aplicados en el presente estudio (método sísmico de refracción por micro tremores – ReMi, vibraciones naturales, ...) aportan información en cuanto a las condiciones y respuestas locales del subsuelo para zonificación sísmica según las recomendaciones de normas internacionales como la NEHRP/IBC y el manual técnico (TC4) ISSME.

Este trabajo quiere proporcionar al ingeniero estructural un ejemplo local de la información sobre la respuesta del terreno a eventuales solicitaciones sísmicas, datos necesarios para el diseño óptimo de la estructura a construir en cuanto al riesgo de la ocurrencia de un sismo. El estudio quiere contribuir al trabajo del proyectista estructural ofreciéndole datos reales derivados desde las condiciones de sitio, cubriendo el ámbito de las responsabilidades específicas de las disciplinas de las ciencias de la tierra (Earth Sciences) como se muestra o en el diagrama de Fig. 1.1 (PEER-Pacific Earthquake Engineering Research Center).

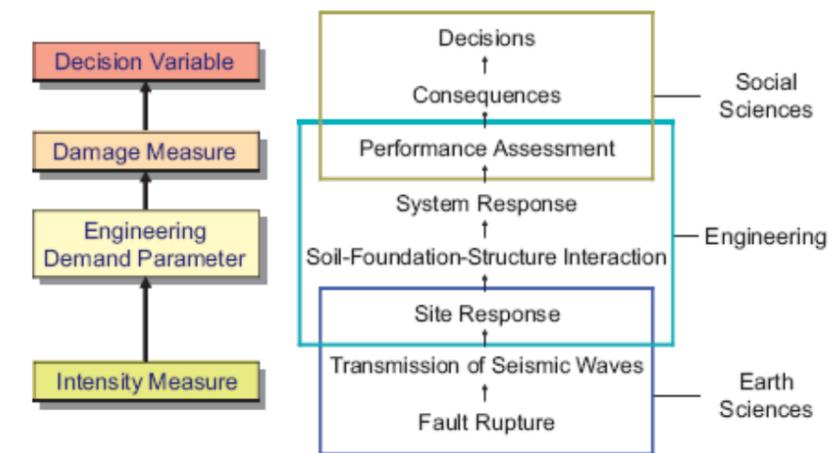


Illustration relating steps in PBEE (center) to PEER's PBEE framework variables (left) and traditional disciplines (right). Courtesy of PEER.

Figura 1.1. Esquema de estudio de caracterización sísmica (PEER). Disciplinas, roles y puntos de decisiones.

El presente trabajo es una contribución de TRX, como complemento de los requisitos del proyecto no incluido en los trabajos contratados, pero si ofrecido como bono extra al cliente. Se presentan estudios de modelado dinámico determinístico en tres zonas de la ruta y, en sustitución de los modelados de inversión HVSR, según acuerdo con el cliente, se presentan dos perfiles profundos de ondas de corte con el fin sísmológico de investigar la profundidad de la roca equivalente ("half space") y roca sensu strictu en los sitios seleccionados.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

### 2.2 Objetivo

- Evaluación Respuesta Sísmica Local (RSL).
  - Análisis de datos geofísicos, adquiridos en una fase precedente del estudio, para la caracterización de sitio (profundidad substrato geotécnico/geológico, evaluación secuencia estratigráfica, definición parámetros geotécnicos y dinámicos...).
  - Evaluación de los posibles escenarios sísmológicos según información publicada.
  - Selección sísmo de referencia (de proyecto).
  - Determinación del espectro de respuesta con métodos deterministas.
- Evaluación de la onda de corte en profundidad para la determinación de la profundidad de los sedimentos como aporte a futuros proyectos de microzonificación en la zona de estudio.

### 2.3 Normas y Procedimientos de Referencia

- **ASTM D420** Guide to site characterization for Engineering, Design, and construction purposes
- **ISSMFE, 1993 (rev. 1999)** Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, **TC4**, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- **NEHRP** Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures Part 1: Provisions (FEMA 450) 2003 Edition of Building Seismic Safety Council (BSSC) (**USA**)
- **ICC-IBC 2006** Seismic Design Category Provisions (**USA**)
- **ASCE/SEI 7-05** Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Seismic Load definition (**USA**)
- **EC8, 1998 (rev, 2003)**. Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. (**CE**)
- **CEC-2002** Código Ecuatoriano de la Construcción.

### 2.4 Ubicación Proyecto & Mediciones

- Proyecto. Línea Metro de Quito. Ver Fig. 2-1
- Coordenadas: (Longitud 78°30'47.39" W, Latitud 0°13'30.15"S).

### 2.5 Personal Técnico

- Ing. Aldo Cataldi MSc. Ingeniería Geofísica. Supervisión & interpretación.
- Ing. Héctor Rojas Procesamiento de datos.
- Lic. Dayana Pacheco. Licenciada Física. Procesamiento y análisis datos.



Figura 2.1 Ubicación del Estudio. Quito, Ecuador

### 3. RESPUESTA SISMICA LOCAL (RSL)

Cuando el estudio de la predicción de la respuesta sísmica se realiza teniendo solamente en cuenta los aspectos probabilísticos, fuente y propagación, el movimiento queda caracterizado en roca o suelo duro, sin que intervengan efectos locales. Pero, cuando el movimiento sísmico se produce en otro tipo de emplazamientos, por ejemplo suelos con espesor variable de sedimentos, presencia de sedimentos blandos/rígidos o en ciertas irregularidades topográficas, es necesario tener en cuenta la influencia de las condiciones locales – esencialmente geología superficial y topografía - como tercer factor integrante del movimiento. Ha quedado demostrado en muchos terremotos recientes que este efecto local puede introducir un factor de amplificación altamente significativo, llegando a multiplicar por 5 la aceleración pico, respecto a la registrada en roca, o bien a aumentar 3 grados la intensidad macrosísmica. La influencia de estos factores en la peligrosidad se aborda usualmente por medio de estudios de microzonificación o, como en el caso presente, por estudios específicos de sitio.

Debe tenerse presente que la ruta del Metro Quito está emplazada en la parte central del Valle de Quito y que la profundidad del nivel definido como “roca” en las normas nacionales e internacionales ( $V_s=760-800$  m/s) no era conocido previo al presente estudio.

El estudio específico del área del proyecto ha sido legitimado bajo un acuerdo mutuo (bonos extra a lo contratado por el cliente) de negociación en donde se dará a conocer al cliente la respuesta de los depósitos del suelo ante solicitudes sísmicas probables en tres zonas de la ruta del metro (ver ubicación en la Tabla 1), todo esto desde un punto de vista de estudios determinísticos. Para la ejecución de este estudio se siguieron las indicaciones de caracterización específicas de sitio precisadas por las normas IBC-NEHRP (Chapter 3, Site Specific Characterization Procedures) combinadas a las del manual técnico TC4 de la ISSMFE (Nivel 2 y 3). En este trabajo se incluyó el estado del arte de las técnicas y estudios de evaluación sismológica (como los resultados del programa NGA-Next Generation Attenuation Models,...) y la comparación de los resultados con las normas nacionales.

Para esta fase, utilizando los resultados de la fase precedente del estudio (que incluyó la adquisición y procesamiento de datos de sísmica de pozo - Downhole, sísmica por micro tremores (pasiva) y medidas de ruido/vibraciones naturales) se procedió a recopilar algunos datos tales como:

- $V_s30$ , velocidad de ondas de corte equivalente en los primeros 30m.
- Profundidad nivel  $V_s$ . 400 – transición entre suelos semi blandos y duros/densos según la norma ecuatoriana.
- Evaluación efectos de amplificación superficial local; los cuales son calculados desde la  $V_s$  medida a partir de formulas empíricas (Midorikawa, 1997).
- Periodo Fundamental HVSR/Nakamura. Este dato ha sido detallado en un reporte complementario.

A partir de ello y estudios sismológicos precedentes en la zona de estudio se realizó:

- Análisis Determinista (DHSA).
  - Definición escenario sísmico posible y posibles condiciones de respuesta local.
  - Selección del sismo de proyecto y evaluación de sus características.
- Modelado Dinámico y definición espectro de respuesta en superficie y en el sustrato.
- Correlación con las Normas nacionales e internacionales.

Referencia	Abcisado	X UTM	Y UTM	$V_s30$ (m/s)
Quitumbe	0+200	494918	9967342	346
Amazonas	17+630	501742	9979028	275
Plaza de Toros	20+580	501719	9981984	276

Tabla 1. Parámetros geofísicos y ubicación de las zonas donde se ejecutó el modelado dinámico.

#### 3.1 $V_s30$

Las ondas de corte representan un parámetro de fundamental importancia en los estudios de micro zonación sísmica y de evaluación de la respuesta sísmica local (RSL).

El parámetro  $V_s30$  representa las velocidades equivalentes de las ondas de corte en los primeros 30 m. El valor de la  $V_s30$  es generalmente utilizado en las diferentes normas mundiales, en caracterización específica de sitio para evaluaciones de amenazas sísmica (DSHA-Deterministic Seismic Hazard Assessment) y en la clasificación de suelos. Este valor puede ser asociado con rangos de valores de golpes SPT (*Standard Penetration Resistance N*) y fuerza de corte de suelo no drenado (*Soil Undrained Shear Strength,  $S_u$  en  $kg/cm^2$  o  $kPa$* ). En el reporte se hace referencia a la clasificación **IBC – NEHRP - ASCE** TABLE 1615.1.1: Site Class Definitions, para la definición de la clasificación de suelos. Estas normas han sido consideradas por el hecho que representan los estándares más modernos en la evaluación y diseño de estructuras sismo resistentes y porque consienten insertar en los cálculos ingenieriles los parámetros derivados de la caracterización específica de sitio. La distribución de las ondas de corte a lo largo de la ruta puede ser visualizada en la Figura 3.1 conjuntamente al periodo fundamental, al parámetro  $V_s30$  y al factor de amplificación superficial.

Para la zona de estudio el valor de  $V_s30$  encontrado varia entre 160 y 417. En casi toda la ruta los suelos corresponden a una Clase NEHRP-IBC **D** ( $180 < V_{sP_{30}} < 360$  m/s), Suelo Rígido,  $15 \leq N_{spt} \leq 50$   $0.5 \leq S_u \leq 1$   $Kg/cm^2$  (soil undrained shear strength-cohesión no drenada). Se hace notar que en un intervalo limitado (Solanda-zona sur) se reportan valores de  $V_s30$  muy bajos que permiten asociar los suelos a la clase **E** (suelos muy blandos) que, según norma, requieren la ejecución de estudios específicos.

#### 3.2 Profundidad $V_s=400$ m/s

En la normativa ecuatoriana este nivel representa la transición entre suelos semi-blandos/rígidos y duros/densos y puede ser considerado un substrato geotécnico. Notar que este nivel de transición entre suelos rígidos y muy duro/densos en la norma IBC es identificado (en forma menos conservadora) para valores de 360 m/s.

En la Fig. 3.1 se muestra un perfil de la profundidad del nivel  $V_s400$  m/s a lo largo de toda la ruta del proyecto.

#### 3.3 Factor de amplificación $F_a$

El factor de amplificación (Fig. 3.1) es una estimación empírica del incremento en la aceleración (PGA) asociado a efectos superficiales derivado desde valores de ondas de corte. En el presente estudio el  $F_a$  es derivado por formulas empíricas (Método de Midorikawa según especificaciones de manual ISSMFE - TC4 para el grado 2 de microzonificación sísmica) desde el valor de la  $V_s30$ . El factor de amplificación ( $F_a$ ) multiplicado por la aceleración en roca  $a_{roca}$  provee la aceleración máxima  $a_{max}$  (g) pico superficial.

### 3.4 Período Fundamental

El período fundamental es uno de los parámetros de interés para evaluar la respuesta del sitio porque permite estimar el espesor de la capa resonante sobre un sustrato rígido y la relación rigidez/espesor. Este parámetro se determina a través de las mediciones de las vibraciones naturales (variación de la velocidad en  $\mu\text{m/s}$  en el tiempo de las partículas que constituyen el terreno) de 3 componentes (dos horizontales y una vertical) en el sitio y al procesamiento espectral de la mismas. El período fundamental (el inverso de la frecuencia fundamental) es la relación entre el espectro de las componentes horizontales y la vertical y permite aportar informaciones relativas a la microzonificación en término del comportamiento dinámico de los suelos.

En la Fig. 3.1 se muestra un perfil del período fundamental a lo largo de toda la ruta del proyecto. Los períodos de vibración natural varían entre 0.15s y 0.46s. Estos valores relativamente bajos son asociados a un reducido espesor de la capa resonante (sedimentos blandos / semi blandos sobre un sustrato rígido). Los datos de ensayos DownHole/geotécnicos y la sísmica por micro tremores Remi confirman la existencia de sedimentos blandos rígidos sobre un sustrato duro/denso asociado a sedimentos (probablemente más antiguos) y material volcánico sedimentario (formación Cangahua).

Los datos relativos a estos parámetros son detallados, conjuntamente a otros, en el documento "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito" anexo al material del Producto 2.

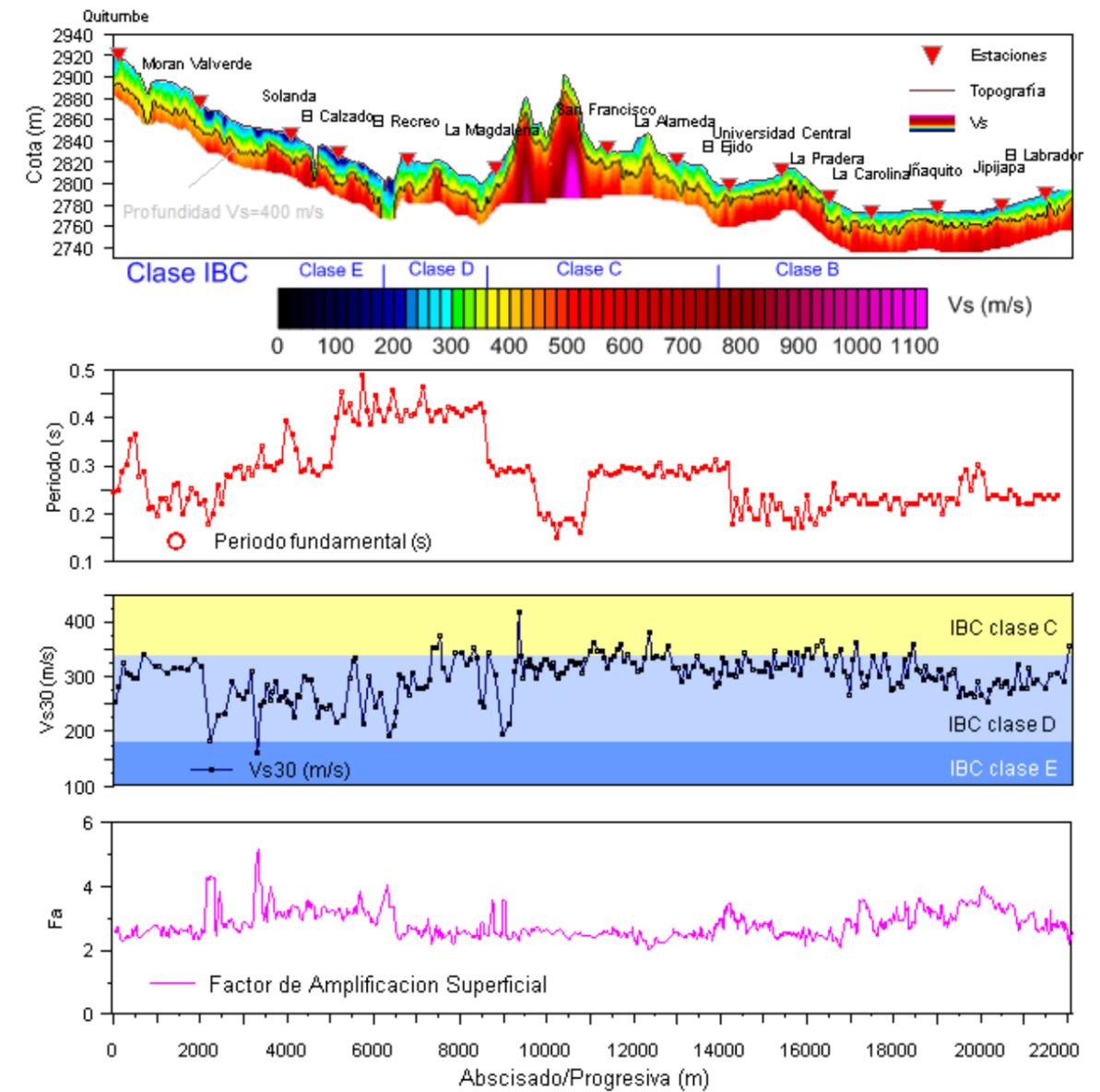


Figura 3.1 Topografía y tomografía de ondas de corte, período fundamental, Vs30 y Factor de amplificación.

### 3.5 Análisis Determinista y Evaluación Específica de Sitio

#### 3.5.1 Escenario Sísmico y Selección del Sismo de Referencia

La selección de la fuente de excitación (sismo de referencia o de proyecto), se deriva empíricamente desde datos, publicaciones y comunicaciones personales del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional que han permitido definir los escenarios sísmológicos (mecanismos estructurales - fallas y sismos asociados) usados en el presente proyecto. Los mecanismos estructurales representan las posibles fuentes sísmogénicas más probables de ocurrencia de sismo según indicaciones de estudios previos de investigadores de la Politécnica, por lo cual han sido objeto de los escenarios propuestos para el eventual estudio del modelado dinámico determinístico.

Los escenarios sísmológicos considerados en la zona del proyecto son resumidos en la Tabla 1. Cabe destacar nuevamente que dichos escenarios provienen de estudios previos realizados por el Instituto Geofísico de La Politécnica de Quito.

Escenario	Lejano	Intermedio	Cercano
Magnitud M de un posible sismo en el área	8.4	7.3	6.5
Profundidad de la fuente	<10 Km	<10 Km	<10 Km
Mecanismo de falla asociado a la fuente	Normal	Normal	Normal
Distancia entre la fuente sísmica y el sitio de estudio	200	80	25

Tabla 2. Características de los posibles escenarios sísmicos en el área de estudio.

#### 3.5.2 Curvas de Atenuación NGA

Existen diferentes formas para la estimación del PGA (Aceleración Pico del Terreno), una es de tipo probabilístico y otra determinístico por medio de las curvas de atenuación aplicadas al escenario sísmico definido por el área de estudio. Los efectos del terremoto son cuantificados por medio de ciertos parámetros que son característicos del movimiento del terreno. Generalmente y en este caso particular, se estudia el parámetro  $PGA_H$  o PHA (Peak horizontal Acceleration), relativo a la aceleración horizontal pico. Las relaciones de atenuación han sido desarrolladas mediante análisis estadísticos de un gran número de señales sísmicas obtenidas en regiones con diferentes características geológicas. Para esta fase se usaron algoritmos desarrollados en el proyecto NGA (*Next Generation Attenuation Models*) del grupo PEER para el caso de sismo cercano (sismo local); las curvas de Zhao et al. (2006), Atkinson & Boore (2003) y Youngs et al. 1997 para el caso de un sismo de subducción a una distancia de 200km y para un escenario de sismo intermedio de distancia 80Km se utilizó Ambraseys et al. (2005) de acuerdo al estudio de Alfonso-Naya (2011).

Estas curvas de atenuación además de los factores característicos de un sismo, como magnitud, distancia, mecanismo de falla, etc., tienen en cuenta los efectos de sitio representados por el valor de la  $V_{s30}$  y la clasificación presentada por las normas NEHRP-IBC-ASCE. Para generar estas curvas desde la data base usado, se utilizó el programa de análisis DMOD2000 (v. 2009) que incluye la actualización de estas relaciones con los últimos eventos sísmicos mundiales.

Las curvas de atenuación representan la relación entre los efectos de un terremoto en un sitio con respecto a un cierto escenario sísmico. La Fig. 3.2 a la Fig. 3.4 muestra las curvas de atenuación, calculadas en roca y en superficie para los posibles escenarios

sísmicos definidos en la sección anterior. Para una visión conservativa se consideró la opción de la media de la curva de atenuación más una desviación estándar.

Escenario Lejano	Roca	Suelo	Escenario Cercano	Roca	Suelo
Curva de Atenuación	PGA (g)	PGA (g)	Curva de Atenuación	PGA (g)	PGA (g)
Zhao et al 2006	0.030	0.087	Abrahamson & Silva (2008)	0.257	0.325
Aktinsong & Boore	0.036	0.055	Boore & Aktinsong (2008)	0.150	0.223
Young et. al. 1996	0.137	---	Campbell & Bozorgnia (2008)	0.157	0.192
Escenario Intermedio	PGA (g)	PGA (g)	Chiou & Youngs (2008)	0.143	0.184
Ambraseys et. al. (2005)	0.121	0.160	Idriss (2008)	0.185	---

Tabla 3. Valores de PGA en superficie y en roca de acuerdo a las curvas de atenuación para cada escenario.

Usando el database de las curvas de atenuación usadas se procedió a estimar el "Target Spectrum", el espectro de respuesta posible para un sismo de proyecto (ver Fig. 3.6) y la duración significativa del posible sismo (Fig. 3.5). Estos parámetros son importantes para la selección del sismo de input para el modelado dinámico.

Los espectros de respuesta (Target Spectrum) definidos con las relaciones de diferentes autores permiten definir el rango espectral (aceleración espectral y periodo) de los sismos compatibles para los escenarios previamente definidos. Estos target spectrum se usaran como objetivo para un "spectral matching" usando un sismo real.

En la Fig. 3.5 se puede observar y derivar en función de diferentes distancias la posible duración de la parte significativa de un sismo compatible con los escenarios definidos. En una de las formulas adoptada se consideran también las condiciones específica del sitio del proyecto.

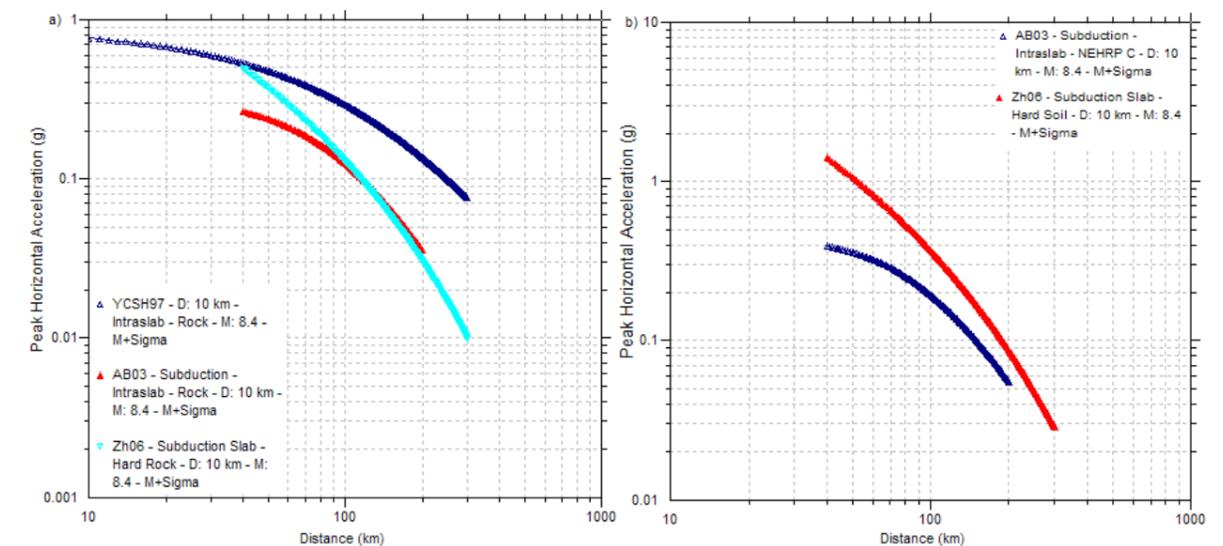


Figura 3.2 Curvas de atenuación de la aceleración máxima horizontal para sismo de intensidad 8.4 en roca (a) y en superficie (b).

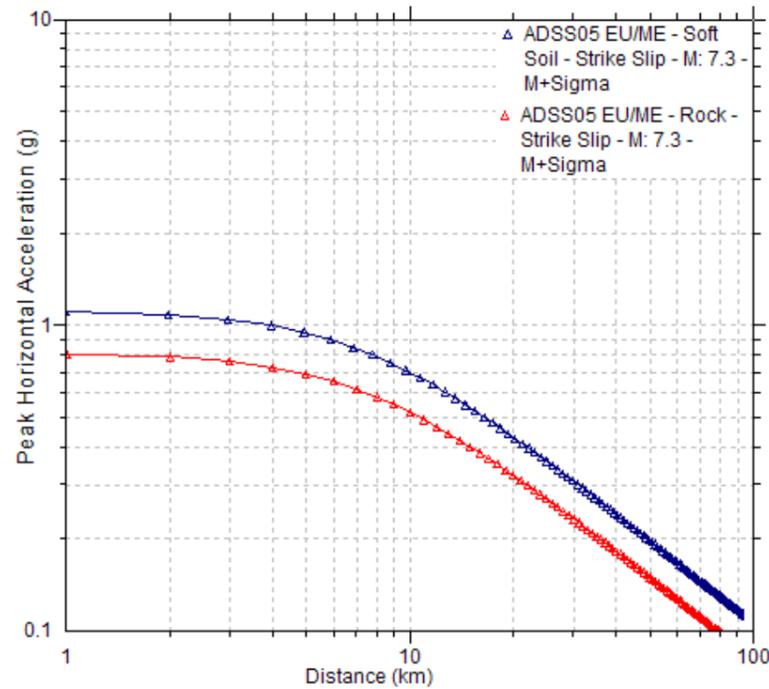


Figura 3.3. Curva de atenuación de la aceleración máxima horizontal para sismo de intensidad 7.3 en roca y en superficie.

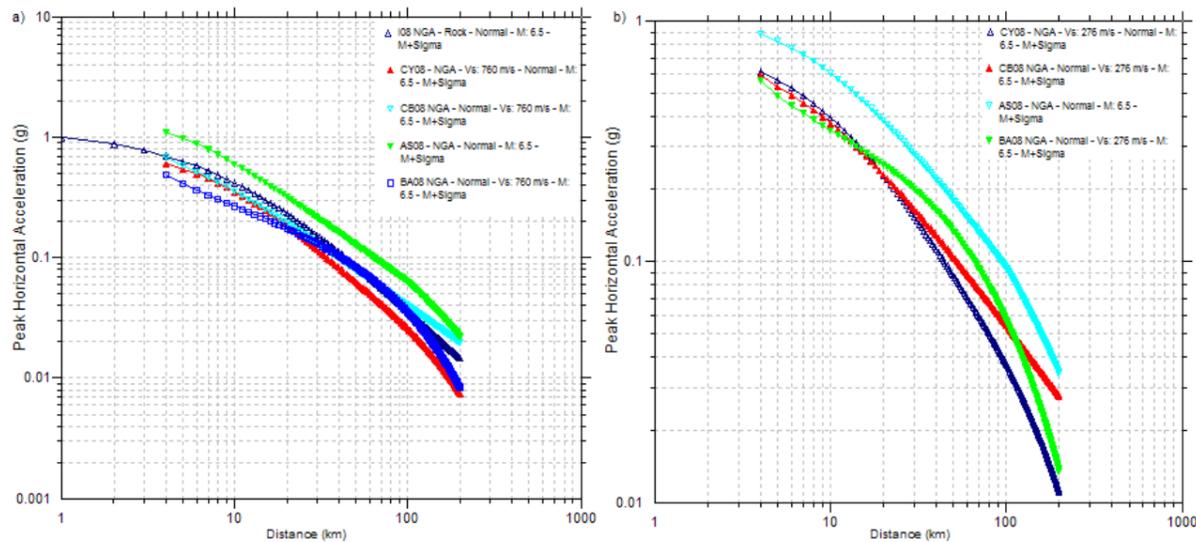


Figura 3.4. Curvas de atenuación de la aceleración máxima horizontal para sismo de intensidad 6.5 en roca (a) y en superficie (b).

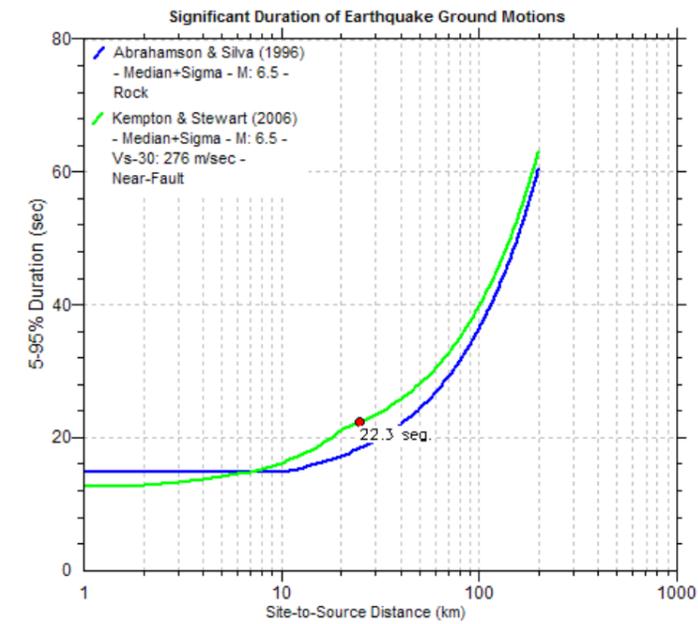


Figura 3.5. Duración del sismo de referencia, en función de la distancia del sitio a la fuente sísmica.

### 3.5.3 Sismo de Proyecto

Los parámetros previamente obtenidos fueron usados para la definición de un sismo de proyecto y la derivación de series temporales a usarse como input para el procesamiento en el modelado dinámico. Desde el momento que el database de sismos reales específico para Ecuador, y en particular para el área de estudio, no cubre completamente los escenarios previamente definidos se decidió usar un sismo sintético espectro compatible generado a partir de un sismo real, cuyas características fueron ajustadas a condiciones específicas del sitio, a través de curvas espectrales de distintos autores de las curvas de atenuación usadas para cada escenario. El sismo real fue seleccionado de la base de datos PEER NGA y sus características se muestran en la Tabla 2. En la Fig. 3.8 se presentan los "target spectrums" derivados desde las curvas de atenuación. Cabe destacar que el ajuste del spectralmatching se realizó a los promedios de las curvas de atenuación en cada escenario.

Escenarios	Sismos Reales		
<b>Lejano</b>	<b>Chi-Chi, 1999-20-09 7.62M,</b> Vs30= 228.9 m/s PGA= 0.072g a 107 Km. TAP042_N	<b>Chi-Chi, 09-20-99 7.62M,</b> Vs30= 201 m/s PGA= 0.075g a 101 Km. TAP014 - E	<b>Loma Prieta, 10/18/89</b> Hollister Diff Array 165 6.93M Vs30=216 PGA=0.28g a 25Km Estación 1656
<b>Intermedio</b>	<b>Chi-Chi, 1999-20-09 7.62M,</b> Vs30= 259 m/s PGA= 0.17g a 60 Km. HWA045_E	<b>Chi-Chi, 1999-20-09 7.62M,</b> Vs30= 260 m/s PGA= 0.06g a 86 Km. KAU085_E	<b>Chi-Chi, 1999-20-09 7.62M,</b> Vs30= 279 m/s PGA= 0.05g a 81 Km. CHY023_E
<b>Cercano</b>	<b>Loma Prieta, 10/18/89 Gilroy</b> Array 4 6.9M Vs30=222m/s PGA=0.26 g a 14Km Estación 57382	<b>Palm Springs Airport, 000</b> 6.06M Vs30=208 PGA=0.18g a 11Km Estación 12025	<b>Chi-Chi, 09-20-99 7.62M,</b> Vs30= 2627 m/s PGA= 0.076g a 109 Km. TAP094 - N

Tabla 4. Características de las estaciones de registro del sismo real.

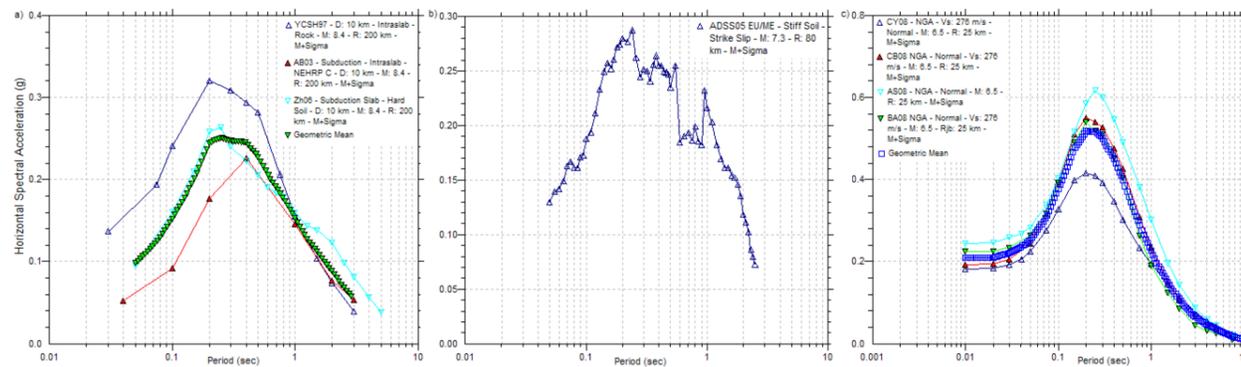


Figura 3.6. Características de la forma del espectro de respuesta de cada autor para el caso de los escenarios estudiados [lejano (a) intermedio (b) y cercano (c)].

El resultado del “spectral matching” viene dado por tres acelerogramas sintéticos generados para los diferentes escenarios, lo cual representa los sismos de input para el modelado dinámico.

### 3.5.4 Modelado dinámico, definición espectro de respuesta superficial y correlación con Normas Nacionales.

Para el modelado dinámico se definió un perfil del subsuelo desde los datos de las mediciones geofísicas de pozo (downhole) ejecutadas tres zonas de la ruta (Quitumbe, La Amazonas y Plaza de Toros). La ubicación de referencia y las características del perfil se muestran en la Tabla 5; las densidades fueron derivadas desde los estudios geotécnicos. En general, se consideró un valor base de amortiguamiento de 5%.

Zona de Referencia	Unidad	Espesor m	Prof. m	$\rho$ (T/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs m/s
Quitumbe Pozo SMQ-2	1	9.05	9.05	1.8	17.7	284.95
	2	6.59	15.64	1.8	17.7	331.99
	3	10.28	25.92	1.8	17.7	387.92
	4	-----	30.04	1.8	17.7	485.85
Amazonas Pozo SMQ-52	1	5	5	1.6	15.7	147.0
	2	7	12	1.5	14.7	224.1
	3	8	20	1.5	14.7	358.5
	4	-----	45	1.73	16.7	540.6
Plaza de Toros Pozo SMQ-59	1	5	5	1.5	14.7	132.8
	2	7	12	1.5	14.7	244.6
	3	10	22	1.8	17.7	365.7
	4	-----	45	1.8	17.7	568.3

Tabla 5. Perfil del subsuelo usado para el modelado dinámico.

Los perfiles de la Tabla 5 fueron energizados con sismos sintéticos generados a partir del spectral matching mencionados en la sección anterior. Los resultados (ver figuras de la 3.7 a la 3.9) nos proporcionan el espectro de respuesta en superficie y a un nivel de profundidad promedio entre 20-25m donde la velocidad de onda de corte es mayor a 360 m/s, lo cual equivale a suelo duro denso clase C, según la norma internacional IBC; estos son analizados por zona a continuación:

En la zona de Quitumbe. Los valores de PGA varían entre 0.12g y 0.22g en superficie; aproximadamente a 26m de profundidad 0.09g y 0.17g de acuerdo a los distintos escenarios planteados. Las aceleraciones pico espectrales en superficie tienen un máximo de 0.7g alrededor de los 0.35s y en profundidad a nivel de la capa de mayor contraste 0.5g cuyo periodo asociado se desplaza a 0.6s. (ver Fig. 3.7)

En la zona de la Av. Amazonas. Los valores de PGA varían entre 0.12-0.17g en superficie; a los 20m de profundidad se encuentran variaciones entre 0.08g-0.14g de acuerdo a los distintos escenarios planteados. Las aceleraciones máximas espectrales en superficie 0.4g alrededor de los periodos 0.5s-0.6s para los casos de escenario lejano e intermedio. Para el caso de escenario cercano los picos espectrales máximos alcanzan los 0.55g en promedio en una banda de periodo entre 0.2s-1.1s. En profundidad (20m) la forma de las aceleraciones espectrales son muy similares para los escenarios estudiados, siendo los máximos espectrales 0.3g-0.4g alrededor de los 0.7s; sólo en el caso de escenario cercano las aceleraciones picos espectrales se desplazan a periodos superiores a 1s. (ver Fig. 3.8).

En la zona de Plaza de Toros. El PGA en superficie varía entre 0.14g – 0.28g, a los 22m varía en un rango de 0.1g-0.22g en función de los escenarios (mas-lejano-cercano). Las aceleraciones espectrales máximas son de 1g alrededor de los 0.25s-0.35s para el caso de sismo cercano. Para los dos escenarios restantes dichas aceleraciones alcanzan los 0.6g para el mismo rango de periodo. En profundidad (22m) el pico espectral máximo es de 0.7g cuyo periodo asociado es de 0.2s para escenario cercano, sin embargo para el escenario intermedio y lejano la respuesta es similar y los picos esperados son de 0.3g alrededor de los 0.5s. (ver Fig. 3.9).

A nivel global, la zona que presenta mayores amplificaciones en todos los escenarios sísmológicos planteados se ubica al norte de la ciudad, específicamente al perfil del suelo ubicado en la Plaza de Toros.

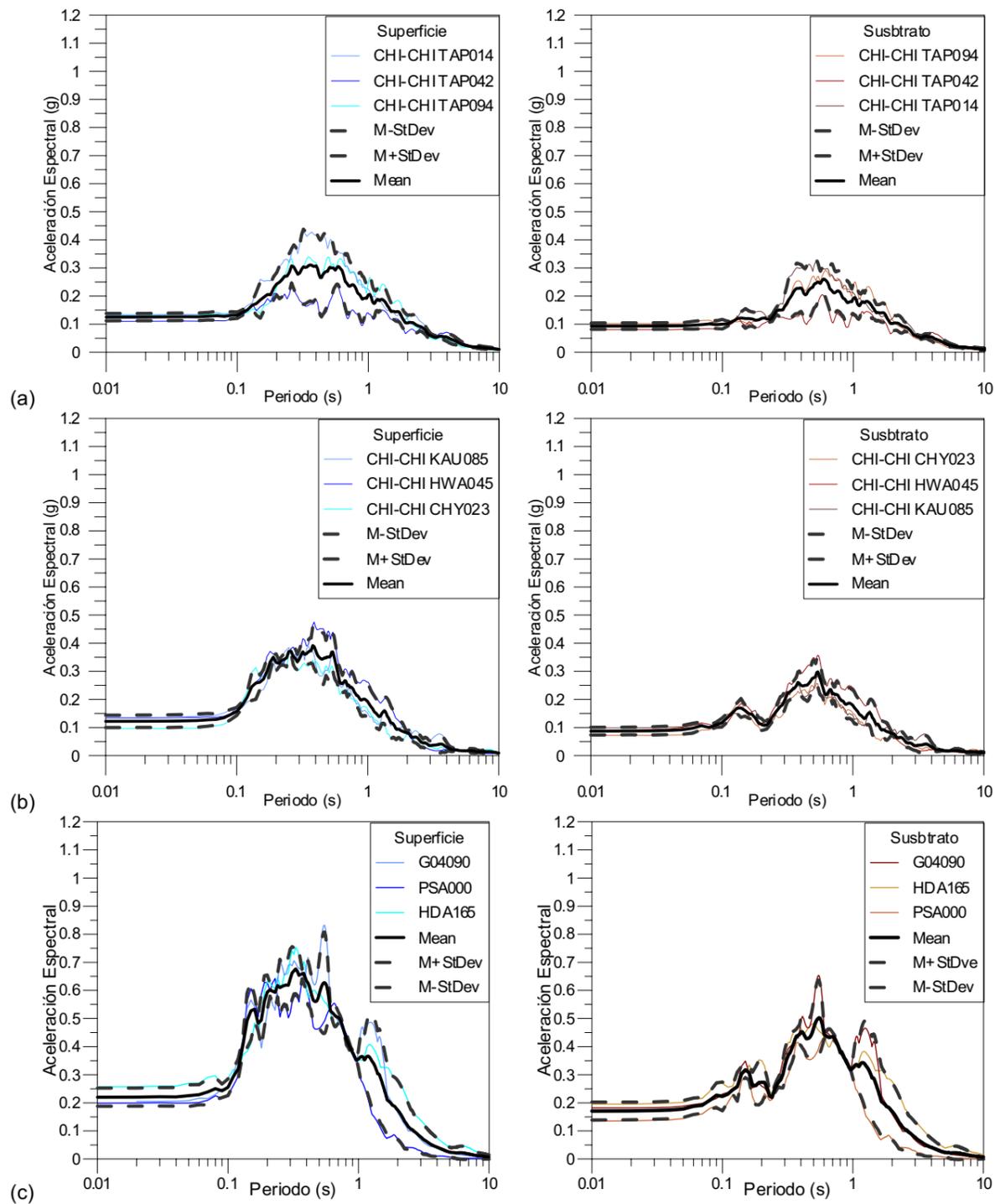


Figura 3.7. Espectro de respuesta para las unidades superficiales y tope del sustrato geotécnico, obtenido del análisis dinámico para el caso de sismo a distancias de (a) 200km, (b) 80km y (c) 25km; zona Quitumbe.

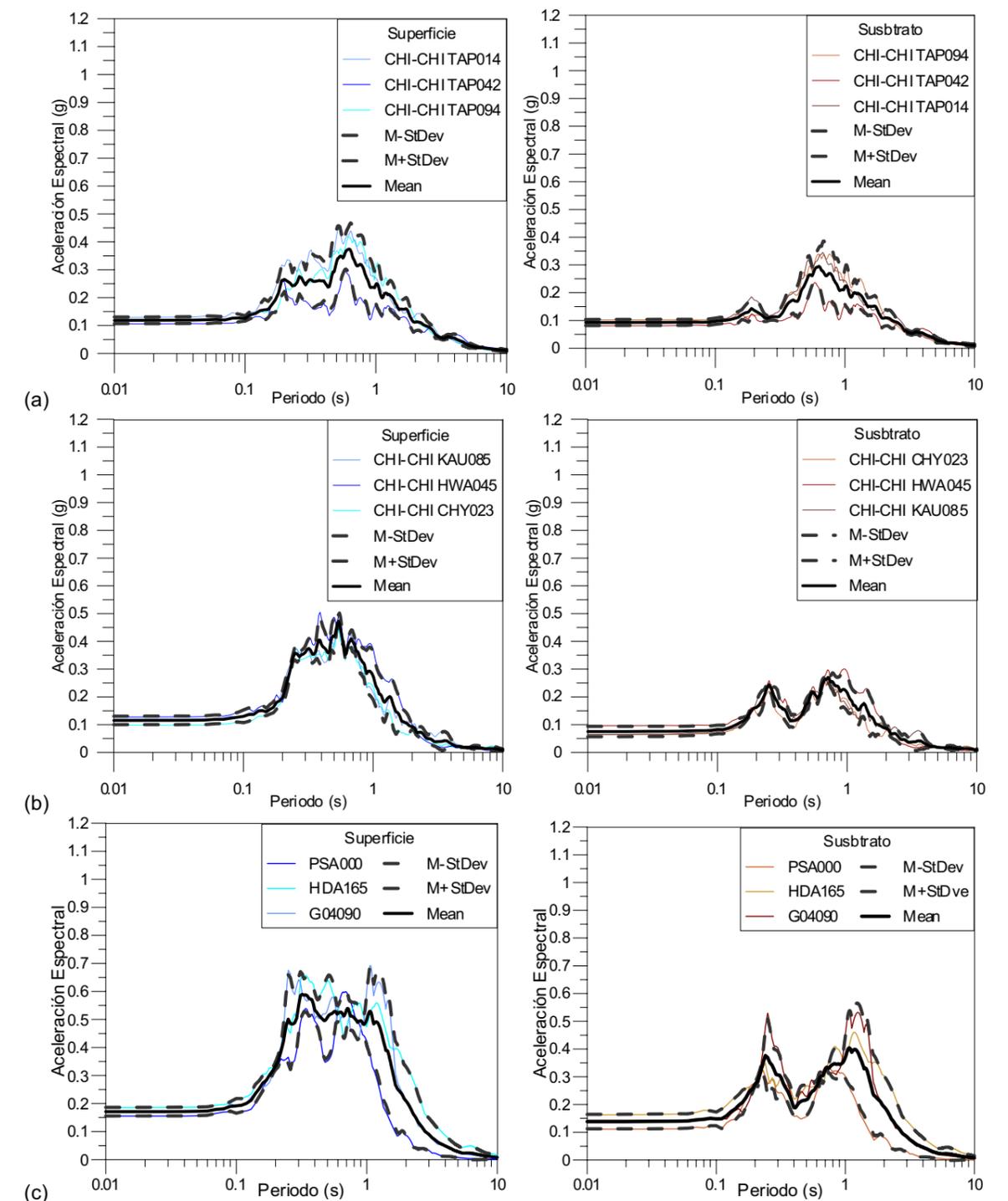


Figura 3.8. Espectro de respuesta para las unidades superficiales y tope del sustrato geotécnico, obtenido del análisis dinámico para el caso de sismo a distancias de (a) 200km, (b) 80km y (c) 25km; zona Av. Amazonas.

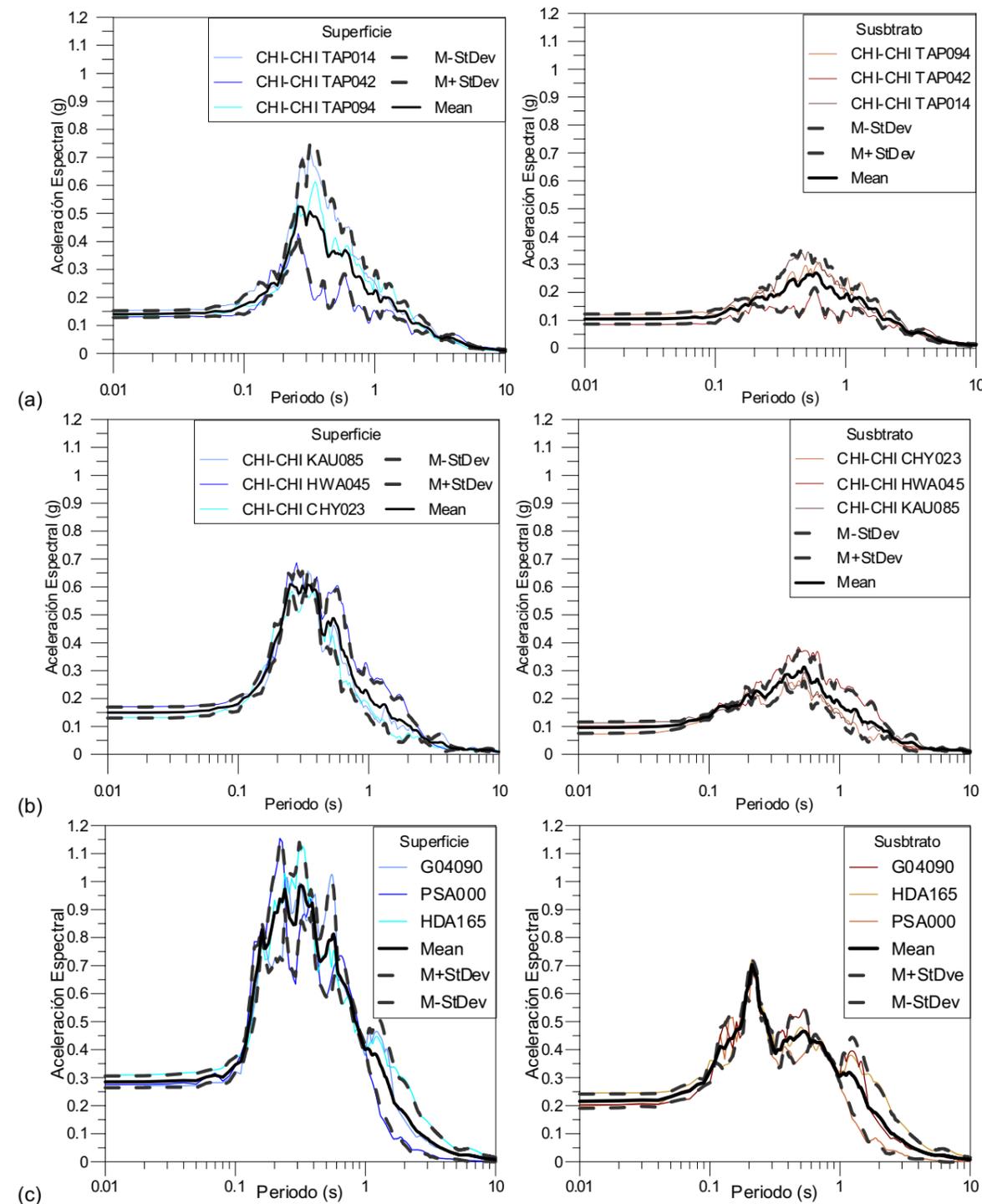


Figura 3.9. Espectro de respuesta para las unidades superficiales y tope del sustrato geotécnico, obtenido del análisis dinámico para el caso de sismo a distancias de (a) 200km, (b) 80km y (c) 25Km; zona Plaza de Toros.

#### 4. EVALUACIÓN DE PERFILES DE ONDAS DE CORTE PROFUNDOS

Como parte de los estudios extraordinarios acordados con el cliente, se contemplaron 2 perfiles profundos de onda de corte ubicados de acuerdo a la Tabla 6; con el fin de dar a conocer, con fines sismológicos, la profundidad de la cuenca de Quito por medio de estudios geofísicos específicos de largo alcance. El método utilizado fue la refracción por microtemores (ReMi) con la implementación en cada zona tendidos de 600m de longitud posibles con el uso de sismógrafos inalámbricos Iseis Sigma.

Referencia	X (m)	Y(m)	Abcisdado (m)
Quitumbe	494441	9968288	1+388
La Carolina	501825	9980176	17+788

Tabla 6. Ubicación de los perfiles de Onda de Corte profundo. UTM - SIRES

Los resultados son presentados mediante modelos 1D como se muestra en la Fig. 4.1 y Fig. 4.2. Estos modelos fueron calibrados en superficie usando los resultados de los ensayos downhole en la zona.

En la zona de Quitumbe, sur de Quito, se localizaron 8 capas sísmicas. El nivel donde se encuentran velocidades > 760/800 m/s, definición de roca según las normas nacionales e internacionales, se encuentra a los 84 m. Velocidades más altas (>1800 m/s) compatibles con las de una roca sensu strictu posible base de la cuenca se observan a 198m de profundidad.

En la zona de La Carolina, norte de Quito, se identificaron 7 capas sísmicas.

En esta área las velocidades, después de la primera capa blanda de reducido espesor, son más altas. El Nivel donde se encuentran velocidades > 760/800 m/s, definición de roca según las normas nacionales e internacionales, se encuentra a los 55 m. Velocidades más altas (>1800 m/s) compatibles con las de una roca "sensu strictu" posible base de la cuenca se observan a ~260m de profundidad.

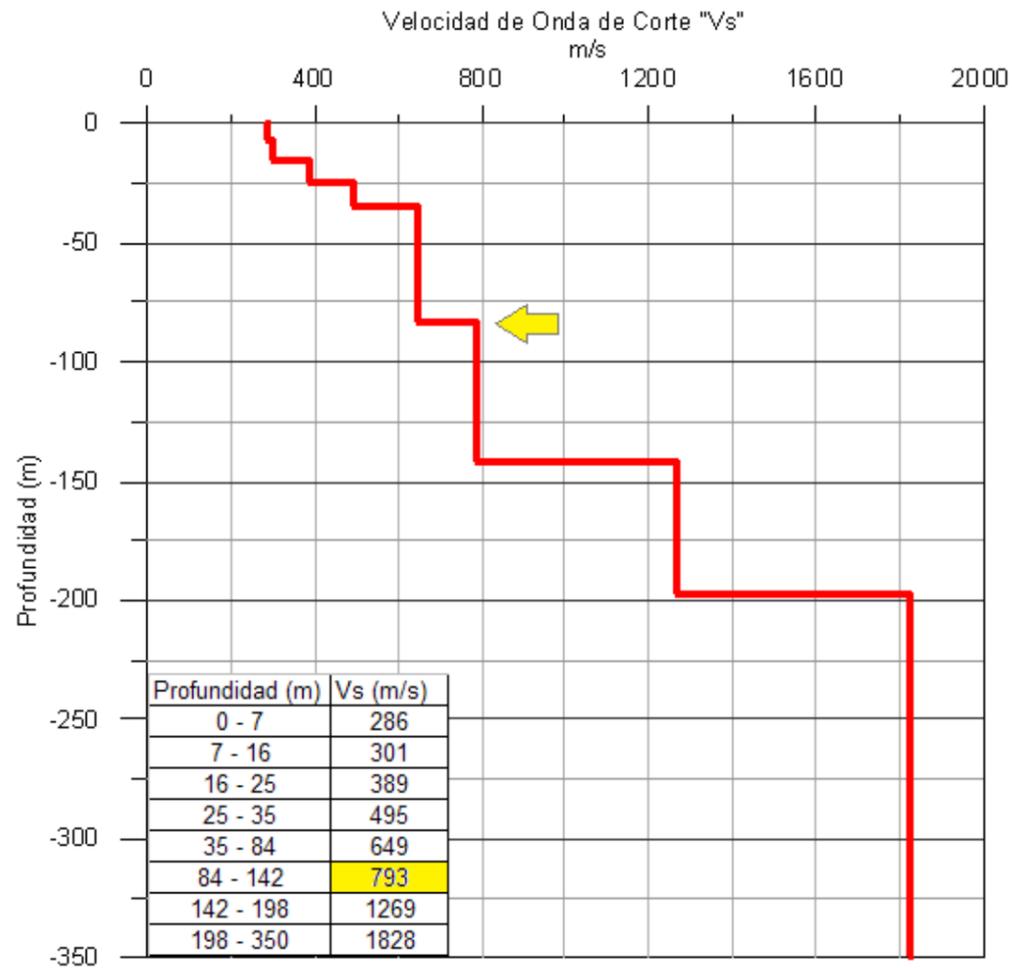


Figura 4.1. Modelo 1D del perfil de Velocidades de Onda de Corte en Profundidad – Zona Sur / Quitumbe.

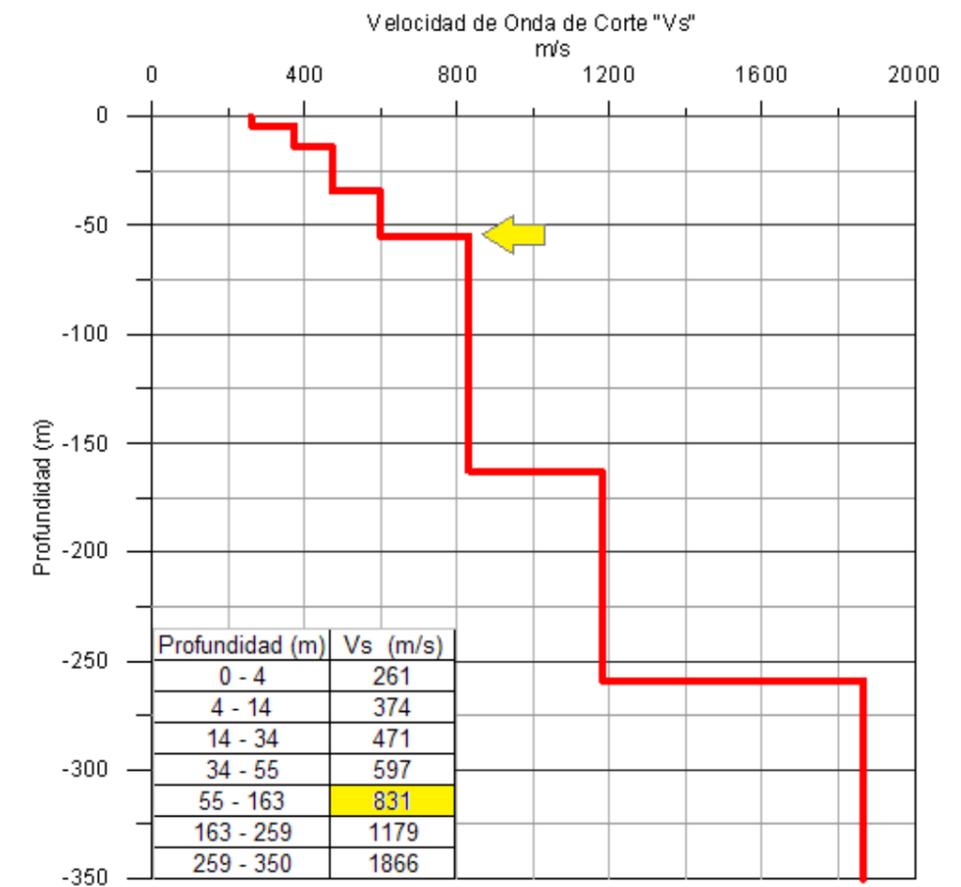


Figura 4.2. Modelos 1D del perfil de Velocidades de Onda de Corte en Profundidad. Zona Norte / La Carolina.

## 5. CONCLUSIONES

Este reporte, contribución no incluida en los requerimientos iniciales del proyecto y ofrecido como "Bonus", presenta los resultados de dos estudios preliminares de interés sísmológico. Los datos quieren representar el punto de inicio de evaluaciones multidisciplinarias para la definición del entorno geológico urbano del emplazamiento de la ruta al fin de optimizar la modelización de detalle de la respuesta sísmica a fines de microzonificación. En particular:

1. Se estudiaron tres zonas (Quitumbe, Amazonas y Plaza de Toro) con el fin de realizar la caracterización específica de sitio y definir la respuesta sísmica local con la derivación de espectro de respuesta en superficie y en el substrato.
2. Adicionalmente, se incorporan dos perfiles de velocidades de onda de corte profundo en dos zonas de la ruta (Quitumbe y La Carolina) al fin de definir la secuencia de los perfiles de ondas de corte típico en el área y la profundidad de la cuenca.

De la caracterización específica y respuesta sísmica local en las tres zonas estudiadas se concluye:

- Las aceleraciones máximas esperadas en superficie son de 0.28g (escenario cercano-Plaza de Toros) de acuerdo a las modelaciones determinísticas (ver Tabla 7).
- Las aceleraciones máximas calculadas en el tope del substrato geotécnico ( $V_s > 360$  &  $N_{spt} > 50$ ) son de 0.22g (escenario cercano-Plaza de Toros).
- Las aceleraciones espectrales máximas son en el orden de 1g (escenario cercano-Plaza de Toros) y son esperadas en el rango de periodos entre 0.1 y 0.7-0.8s.
- En el caso de la Plaza de Toros, la respuesta del suelo ante solicitudes sísmicas resultó más amplificada (especialmente en el escenario cercano) en relación con los otros dos sitios analizados en relación a la mayor rigidez de la secuencia sísmica de la zona. Por analogía se puede esperar un comportamiento similar en la parte centro y norte de la ruta.

Referencia	Abscisado	Escenario Lejano		Escenario Intermedio		Escenario Cercano	
		A <sub>0</sub> (g)	A <sub>0</sub> (g)	A <sub>0</sub> (g)	A <sub>0</sub> (g)	A <sub>0</sub> (g)	A <sub>0</sub> (g)
		superficie	substrato	superficie	substrato	superficie	substrato
Quitumbe	0+200	0.13	0.10	0.12	0.09	0.22	0.17
Amazonas	17+630	0.12	0.09	0.12	0.08	0.17	0.14
Plaza de Toros	20+580	0.14	0.10	0.15	0.10	0.28	0.22

Tabla 7. Síntesis Aceleraciones Horizontales en función de diferentes escenarios.

Del estudio de evaluación de la onda de corte ( $V_s$ ) en profundidad se concluye:

- El nivel con  $V_s > 800$  m/s, definición de roca según normas nacionales & internacionales de construcción sismo resistente, se encuentra a profundidades de 84 m en la parte sur (Quitumbe) y 55 m en la parte norte (Carolina). Esta profundidad define el espesor de la capa resonante y representa el nivel donde se observan las aceleraciones en roca reportadas por los estudios probabilísticos. Este nivel, podría ser asociado a un nivel consolidado, cristalizado en la secuencia volcánica de la formación Cangahua.

- El nivel asociado a roca, sensu strictu en términos geológicos, posiblemente el basamento, se infiere asociado a velocidades de ondas de corte mayores a 1800 m/s. Estas condiciones, en los puntos investigados, se encuentran a profundidades de 198 m en la parte sur (Quitumbe) y 260 m en la parte norte (La Carolina).

## Recomendaciones

Este estudio representa una contribución al conocimiento del entorno sísmológico específico de Quito y solo quiere aportar nuevas ideas a las problemáticas específicas de microzonificación.

En relación al proyecto, se recomienda extender la evaluación determinística de la respuesta sísmica local a diferentes zonas representativas de la ruta, parte de interés específicos del proyecto, en zonas de fuertes transiciones laterales y a puntos específicos donde se observan singularidades en la distribución de las velocidades de ondas de corte. En particular se sugiere ejecutar modelado dinámico en correspondencia de las estaciones, lugares con espesores mayores de suelos muy blandos (parte sur del área investigada), en las zonas donde se infieren elementos estructurales y transiciones geológicas (Machangara, transición sur al Panecillo, el Ejido, ...), y en singularidades encontradas a nivel rasante. Adicionalmente se recomienda su ejecución en el centro histórico, por la importancia de su bienes culturales (debido a la sensibilidad de la construcciones relativamente más altas y de mampostería) y finalmente en zonas de emplazamiento de estructuras esenciales. Una lista de puntos críticos podría ser redactada en coordinación entre UNMQ, la alcaldía de Quito y las instituciones competentes a fin de crear un producto de interés general con criterios uniformes.

Para la evaluación de las aceleraciones características para la estructura del túnel del metro se sugiere derivar espectros de respuesta a nivel de la rasante definitiva (aún no disponible a la fecha de la redacción del presente reporte) y evaluar este parámetro en las zonas donde se observan fuertes transiciones laterales en rigidez.

Al fin de optimizar y afinar estos estudios, adicionalmente se sugiere:

Que las instituciones competentes se acuerden sobre escenarios de amenaza. Esto podría basarse en la integración de los estudios existentes con uno nuevo que incluya informaciones recientes de la nueva red acelerométrica.

Para los diferentes escenarios se definan curvas de atenuación a usar (desde bibliografía) o se creen nuevas integrando datos locales.

Se ejecute un análisis detallada con selección de sismos de input reales desde el data base existente (nacional e internacional) o sintéticos derivados de los reales a través de "spectral matching" para el modelado dinámico.

Que se definan características detalladas, en lugares representativos, de los suelos en Quito al fin de usar datos específicos (y no bibliográficos) en el modelado dinámico (curvas de degradación,...).

Evaluar la modelización determinista usando como profundidad del "half space", substrato sísmológico, también los datos de la investigación geofísica profunda comparando los presentes resultados (columna sismo estratigráfica modelada hasta el substrato geotécnico) con los de una columna hasta la  $V_s = 760-800$  m/s.

## 6. REFERENCIAS

- Alfonso-Naya, V. (2011) "Simulación de los efectos de Quito de un sismo de Mw 7.1 a 100 km de la capital". 7mas Jornadas de Ciencias de la Tierra y I encuentro sobre riesgos y desastres.
- Kramer S. L. "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, 1995.
- Santamarina, J. C., K. A. Klein, A. F. Moheb. "Soils and Waves: Particulate Materials Behavior, Characterization and Process Monitoring". John Wiley & Sons, 2001.
- Towhata Ikuo, 2009. "Geotechnical Earthquake Engineering" (Springer Series in Geomechanics and Geoengineering)
- Valverde, J. et al. "Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito"

## 7. DECLARACION DE CALIFICACION

Aldo Cataldi, italiano, residente en Caracas Venezuela, certifica que:

1. Me gradué con el título de Master (Geología) en la Universidad de Pisa, Italia (1985).
2. Tengo un título de Master en Ingeniería Geofísica de la Escuela de Minas de Colorado, EE.UU. (1990).
3. Soy el Presidente de T.R.X. Consulting C.A., una compañía especializada en consultorías de servicios de exploración & ingeniería.
4. He practicado mi profesión con actividades de consultoría en ciencias de la tierra desde el 1985 y he aplicado la geofísica y la integración de métodos geo científicos en diversos países de America, África, Europa y Asia.
5. Soy el autor del presente reporte.
6. Supervisé a la etapa de adquisición, control de calidad - validación de los datos, el procesamiento & interpretación de los mismos y soy el autor de este Reporte. Los resultados mostrados aquí representan mi mejor opinión y juicio, basado en la información disponible al momento de escritura de dicho reporte.

Realizado en Quito, Ecuador, el 22 de Diciembre de 2011.



Aldo Cataldi, M.Sc.

# ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE RUTA CON MÉTODOS GEOFISICOS NO INVASIVOS PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO

UNIDAD DE NEGOCIOS METRO QUITO (UNMQ)

CLCC-UNMQ-2011-009

Segundo Producto

ANÁLISIS DE VIBRACIONES NATURALES  
PERIODO FUNDAMENTAL & LÍNEA BASE AFECTACIÓN A ESTRUCTURAS Y PERSONAS

Producto 2\_VN-F1.1

**CONSORCIO GRIFFMETAL - TRX Consulting C.A.**

Quito, Diciembre 22 de 2011

## LISTA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo	4
2.2 Métodos Aplicados	4
2.3 Ubicación del Proyecto y Medidas	4
2.4 Normas y Procedimientos de Referencia	4
2.5 Fecha Adquisición Datos	4
2.6 Personal Técnico	4
2.7 Instrumentación	4
2.8 Parámetros de Adquisición	4
<b>3. PROCESAMIENTO &amp; RESULTADOS</b>	<b>7</b>
3.1 Monitoreo de Vibraciones	7
3.1.1 Norma DIN4150/3. Control de vibraciones en áreas urbanas, afectación a edificios	7
3.1.2 Norma DIN 4150/2. Control de vibraciones en áreas urbanas, afectación a humanos	9
3.2 Ruido-Vibraciones Naturales (VN)	12
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>16</b>
<b>5. DECLARACION DE CALIFICACION</b>	<b>16</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación general de la zona de estudio	5
Figura 2 Ubicación de los puntos de adquisición a lo largo de la ruta del tren	6
Figura 3 Correlación valores picos medidos con la norma relativa a afectación edificios	8
Figura 4 Valores picos medidos con la norma relativa a afectación edificios, diferenciados según las zonas de medición	9
Figura 5 Grado de afectación a humanos en función de la progresiva	11
Figura 6 Espectro H/V (HVSR) y valor de frecuencia fundamental (inverso del período) obtenido en la estación de medición nro 9, en la zona sur	12
Figura 7 Perfil topográfico y período fundamental en función del abscisado/progresiva	14
Figura 8 Mapa de Isoperiodos a lo largo de la ruta de estudio	15

## 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de desarrollo del proyecto para la construcción de la primera Línea de Metro en Quito, Ecuador, por solicitud de la Unidad de Negocios Metro de Quito (UNMQ), se iniciaron una serie de estudios de monitoreo de vibraciones en las áreas urbanizadas a lo largo de la ruta del proyecto. Los estudios en el presente reporte fueron realizados entre los días 20 de Octubre al 4 de Noviembre del 2011, con la finalidad de estudiar la respuesta dinámica a lo largo de la ruta, obtener una evaluación del sitio y un análisis espacial de la variación del parámetro de periodo fundamental con el fin de aportar información para la microzonificación de la ciudad.

El estudio también incluye el monitoreo de vibraciones para determinar sus niveles base presentes en el área previo al inicio de la construcción de la obra. Aprovechando de las medidas de vibraciones naturales para la definición del periodo fundamental (método de Nakamura) se analizan los datos al fin de establecer una línea base preliminar que permita comparar los niveles de vibraciones en el sitio en condiciones previas a las actividades de excavación.

El estudio se ejecutó a lo largo de la ruta del metro que tiene una longitud aproximada de 22 Km. La ruta fue dividida en tres zonas de aproximadamente 7km de longitud cada una (Norte, Centro y Sur). Se realizaron un total de doscientos diecisiete (217) mediciones, distribuidas a lo largo de la ruta, con una separación entre puntos de mediciones de 100m aproximadamente.

Este informe, perteneciente al segundo producto del contrato **Estudio de caracterización de ruta con métodos geofísicos no invasivos primera línea del metro de Quito, CLCC-UNMQ-2011-009**, presenta:

- Los resultados del estudio de vibraciones naturales y su análisis en términos de evaluación del periodo fundamental de vibraciones de los suelos.
- Línea base vibraciones naturales en términos de afectación a estructura e humanos.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

### 2.1 Objetivo

Estudios sísmicos no invasivos han sido planeados para:

- Determinación del periodo fundamental.
- Caracterización de sitio y soporte a la investigación geotécnica.
- Monitoreo de vibraciones según la norma DIN 4150/2 y 4150/3.

### 2.2 Métodos Aplicados

- Análisis de Vibraciones-Ruido Natural.

### 2.3 Ubicación del Proyecto y Medidas

- Proyecto: Línea de Metro en Quito, Ecuador.
- Ubicación: Quito, Provincia de Pichincha, Ecuador. Figura 1.
- Puntos de medición de vibraciones naturales. Se adquirieron 217 Medidas a lo largo de la ruta. La ubicación de los puntos de medición de vibraciones naturales son presentadas en las Figura 2.

### 2.4 Normas y Procedimientos de Referencia

- **ASTM D420** Guide to Site Characterization for Engineering, Design, and Construction Purposes.
- **CEC-2002** Código Ecuatoriano de la Construcción
- **SESAME 2004** Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibration: Measurements Processing and Interpretation. European Commission Research General Directorate. Project N° EVG1-CT-2000-00026
- **DIN 4150/2** Control de Vibraciones en Áreas Urbanas, Afectación a Humanos
- **DIN 4150/3** Control de Vibraciones en Áreas Urbanas, Afectación a Edificios

### 2.5 Fecha Adquisición Datos

- Del 20 de Octubre al 4 de Noviembre de 2011.

### 2.6 Personal Técnico

- Ing. Aldo Cataldi, M.Sc. Ingeniería Geofísica. Coordinación del proyecto.
- Ing. Dayana Pacheco. Lic. Física mención Geofísica. Adquisición/procesamiento datos.
- Ing. Solange Mijares. Procesamiento de datos.

### 2.7 Instrumentación

- **Sismógrafo:** SYSCOM MR 2002- CE
- **Geófonos:** SYSCOM MS-2003 (triaxial activo compensado electrónicamente)

### 2.8 Parámetros de Adquisición

- Configuración del Sensor: GAIN (sensitivity 19.5 V/cm/s)
- Unidad de medida:  $\mu\text{m} / \text{s}$
- Filtro Pasabajos 50Hz.
- Frecuencia de muestreo: 200 Hz.
- Tiempo de medición: 60 s por grabación
- Numero de grabaciones por estación: 15



Figura 1: Ubicación general de la zona de estudio.

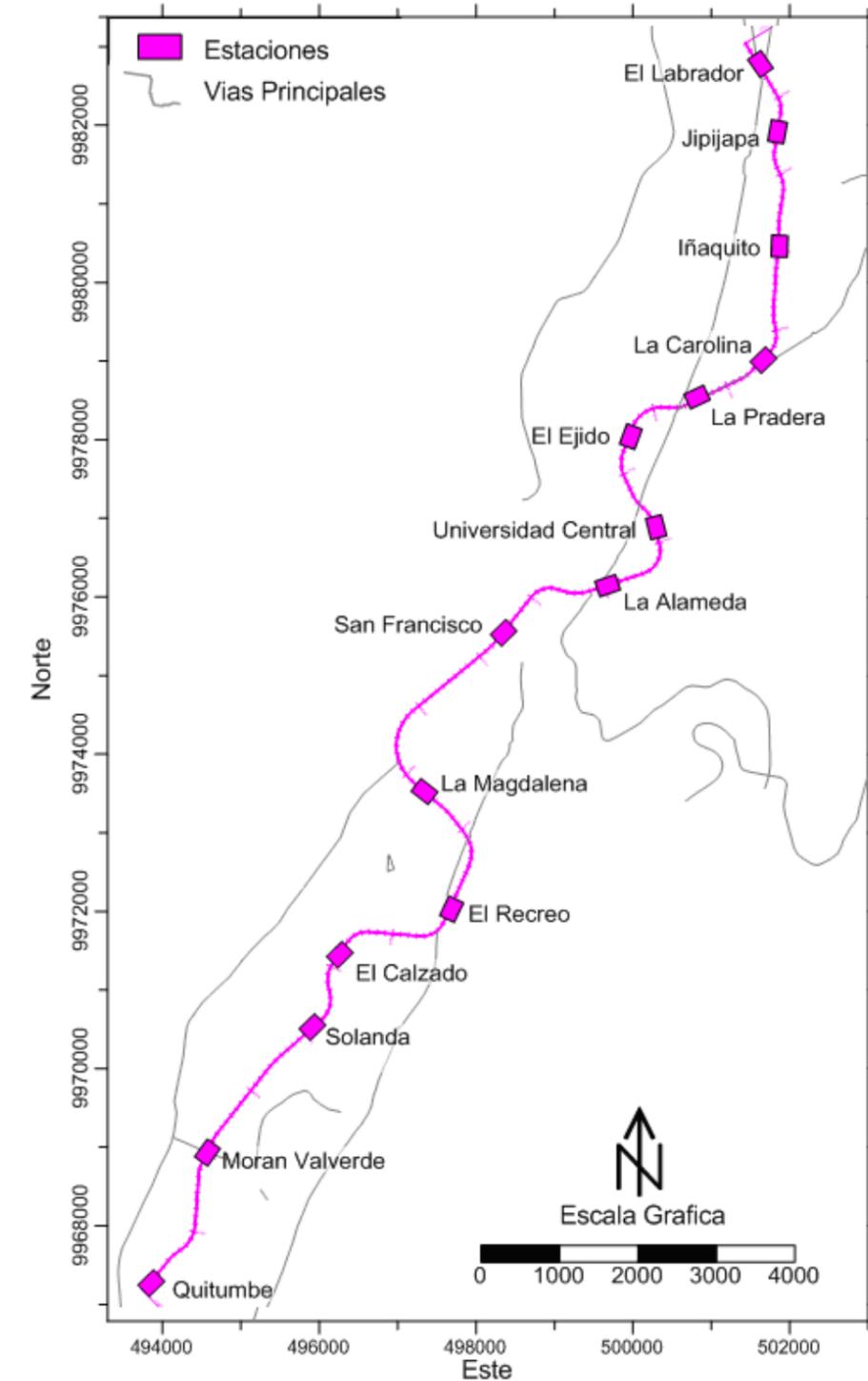


Figura 2: Ubicación de los puntos de adquisición a lo largo de la ruta del tren.

### 3. PROCESAMIENTO & RESULTADOS

#### 3.1 Monitoreo de Vibraciones

El equipo empleado en este estudio es un sismógrafo **SYSCOM MR2002** conectado a una computadora portátil, conjuntamente con un **Geófono Triaxial MS 2003 +**, lo cual permite monitorear la velocidad de propagación de la onda sísmica tanto vertical (eje z) como horizontal (ejes x e y). El Geófono es la parte del instrumento que contiene los sensores, también llamados transductores de la velocidad sísmica; este equipo contiene tres geófonos activos electrónicamente igualados en la combinación de la electrónica adicional. El principio activo de este tipo de sensor consiste en una masa atada a un resorte en movimiento en un campo magnético. La masa suspendida actúa como un solo grado de libertad y produce una curva en respuesta. Detalles sobre el instrumento usado son presentados en el documento adjunto "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito".

El principio de funcionamiento establece que la onda sísmica que se propaga a través del suelo, excita al sensor que envía una señal electrónica al Sismógrafo, que a su vez, empleando la computadora portátil como interfase de salida, permite a través del programa *MR 2002 communication*, grabar la señal sísmica para su posterior análisis.

Una vez en oficina, el análisis de la señal permite establecer la velocidad pico de propagación de la vibración en mm/s, su frecuencia en Hz y efectuar una serie de análisis numéricos tanto en el dominio de la frecuencia como en el dominio del tiempo.

Desde el momento que no existen normas nacionales que regulan el monitoreo de vibraciones en áreas urbanas y como estas afectan tanto los edificios como los seres humanos se consideró la Norma Alemana DIN4150. Esta es una de las más usadas a nivel internacional ya que relaciona el estudio de afectación en diferentes tipos de edificaciones así como el estudio de la afectación al ser humano.

#### 3.1.1 Norma DIN4150/3. Análisis de vibraciones, afectación a edificios.

Esta norma permite relacionar diferentes frecuencias de vibración en función de la tipología estructural del edificio, tomando como referencia los registros triaxiales de la velocidad de vibración de la partícula (Vp).

Las tres clases de edificios definidas por la norma son:

- a) Edificios estructurales
- b) Habitaciones
- c) Monumentos históricos y construcciones ultrasensibles (madera, barro,...)

Las frecuencias son analizadas en tres intervalos, es decir, valores menores de 10 Hz, valores entre 10-50 Hz y valores entre 50-100 Hz. La norma prevé que para frecuencias por encima de 100 Hz, la estructura soporta niveles altos de vibración.

Los valores de velocidad de vibración de partícula definidos varían de 3 mm/s, en el caso de monumentos y construcciones delicadas con frecuencia inferior a 10 Hz, hasta 50 mm/s en el caso de estructuras industriales con frecuencia entre 50-100 Hz.

Valores de frecuencia por encima de 100 Hz pueden ser aceptados en la parte más alta de los edificios. Otros valores, medidos por debajo de los límites especificados anteriormente son considerados como no perjudiciales a la estructura civil.

En la Figura 3 se muestra un gráfico del valor pico de velocidad para cada punto de medición en función de su frecuencia; adicionalmente se grafica el patrón para la norma DIN4150 para edificios residenciales y para edificios ultrasensibles, con el fin de evaluar las frecuencias medidas. Estos valores son detallados en el documento "TRX\_Producto

2\_Anexo Datos\_Quito". En general la gran mayoría de los valores picos medidos se encuentran por debajo de los niveles críticos tanto para edificios residenciales, como para los edificios sensibles; sin embargo escasos puntos son localizados por encima del nivel de edificios sensibles.

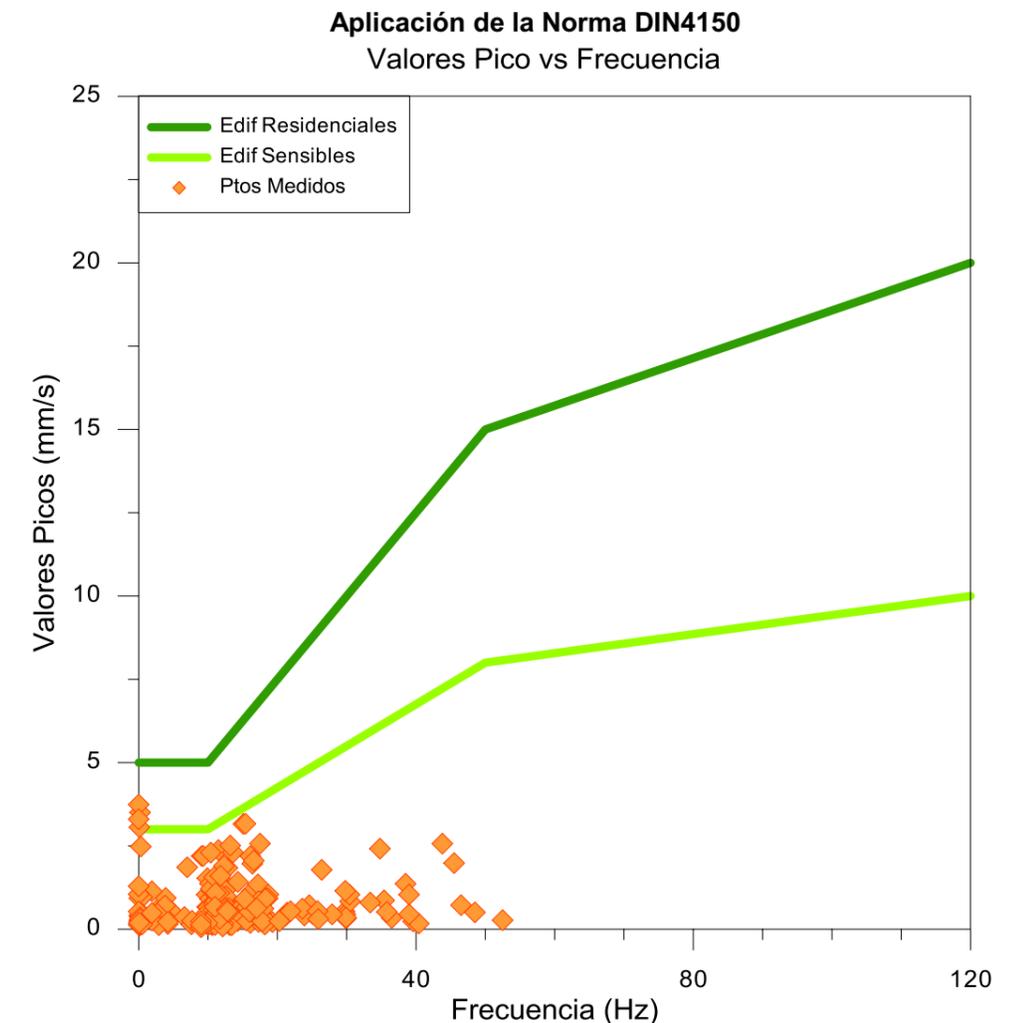


Figura 3: Correlación valores picos medidos con la norma relativa a afectación edificios.

En la siguiente gráfica (Figura 4) se muestran los valores picos medidos en función de la frecuencia para la norma DIN4150, especificando la zona de medición sobre la ruta. Las mediciones realizadas arrojan resultados de valores picos medidos asociada en su mayoría por debajo de los límites de posible afectación a estructuras; sin embargo se encuentran 4 puntos de mediciones muy cercanos o ligeramente por encima del límite de edificios sensibles en los cuales se debe tener especial cuidado al momento de la excavación y construcción de la obra principalmente en el casco histórico ya que se trata de edificaciones muy antiguas. Estos puntos críticos se enumeran a continuación detallando el valor pico, la progresiva y lugar de referencia a los que se encuentran asociados

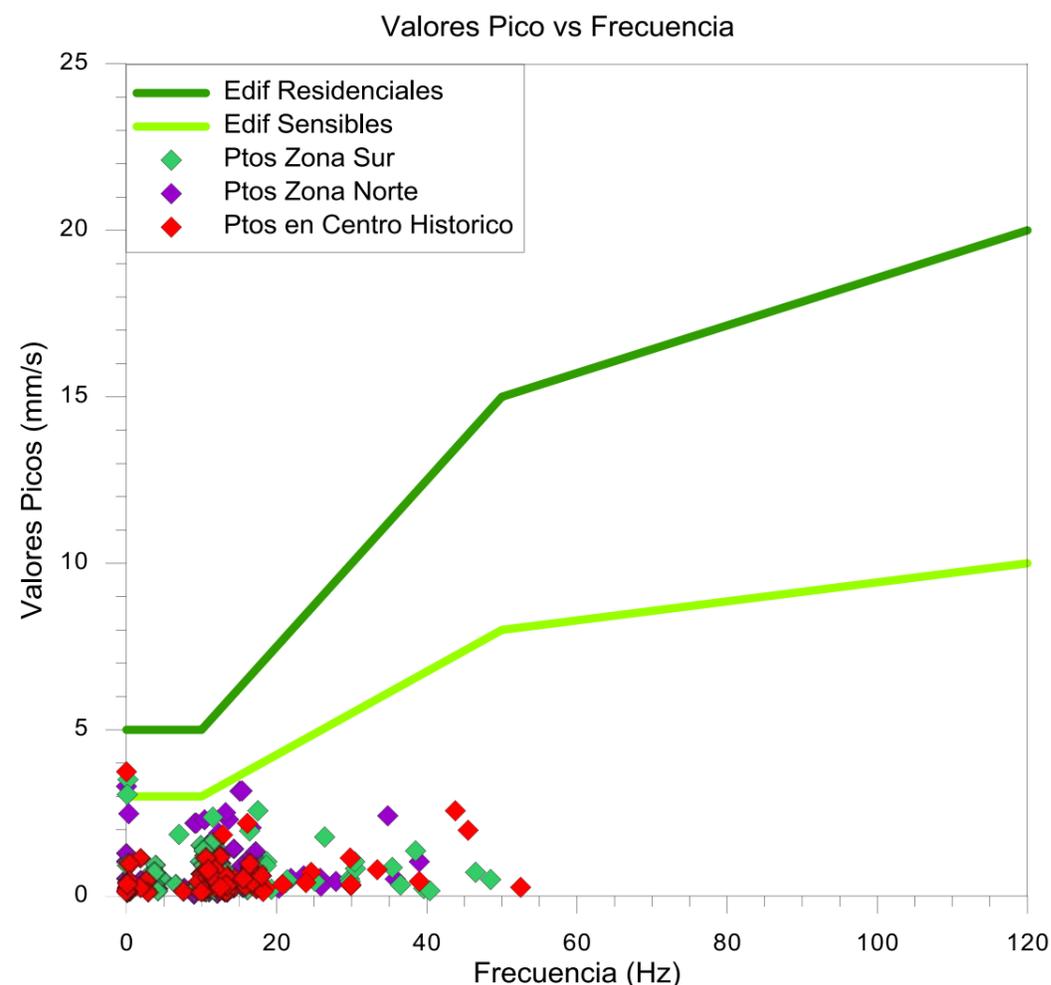


Figura 4: Valores picos medidos con la norma relativa a afectación edificios, diferenciados según las zonas de medición.

Zona	Pto	Vp (mm/s)	Progresiva (m)	Lugar de referencia
Zona Sur	P47	3.51	4609.9	Unidad Educativa del Sur
	P57	3.06	5645.1	Calle 6, El Calzado 200m al N de la Est. El Calzado
Centro Histórico	P120	3.74	12026.5	Calle Manabi, San Blas. 200m al N de Plaza la Independencia
Zona Norte	P155	3.30	15489.7	Estación Universidad Central
	P169	2.48	16908.9	Estación La Pradera 200m hacia el norte

Tabla 1: Puntos críticos que se encuentran al borde del límite de afectación a edificios sensibles.

### 3.1.2 Norma DIN 4150/2. Análisis de vibraciones, afectación a humanos.

Bajo ciertas condiciones el cuerpo humano puede detectar amplitudes tan bajas como un micrón; amplitudes del orden de 0.5 micrón pueden ser detectadas con la puntas de los dedos (todos los desplazamientos son picos de amplitudes). El dato básico concerniente a la sensibilidad de todo el cuerpo a las vibraciones son descritas en la escala **Reiher-Mesiter**. A pesar de haber sido escrita más de 60 años atrás, esta escala sigue siendo válida para vibraciones continuas. En el caso de vibraciones transientes (actividad

industrial, tráfico, construcción) se observa que se necesitan amplitudes más grandes (de las descritas en la escala) para producir una sensación de percepción en los humanos a una frecuencia dada. En la investigación **Reiher-Mesiter** notó que las vibraciones verticales son detectadas por humanos con mayor facilidad estando en pie, mientras las vibraciones horizontales son percibidas mayormente estando acostados. La sensación producida depende de la frecuencia y la amplitud. Una amplitud de 100 micrón constituye una vibración molesta si la frecuencia excede 5 Hz y una vibración dolorosa si la frecuencia excede 20 Hz. Una amplitud de 10 micrón es solo perceptible a 5 Hz, pero sería de molestia a 50 Hz. En término de velocidad pico el límite de percepción corresponde a una velocidad de 0.3mm/s y una vibración es molesta si la velocidad excede 2.5 mm/s.

El problema relacionado a la percepción humana del movimiento casual es cubierto en estándar **DIN 4150/2** (Tabla 2).

Es probable que la mayoría de los problemas relacionados a las vibraciones sea en el área de la tolerancia humana a sus efectos. Las mayores fuentes de vibraciones originadas por actividad humana son asociadas a tráfico, ferrovías, sitio de construcción, actividad industrial, etc. La tolerancia humana es dictada no solamente por factores científicos sino también psicológicos; y una definición muy rígida de lo que constituye una molestia puede que no sea posible.

Los datos son aplicables a las vibraciones tanto en el sentido horizontal como vertical y han conseguido reflejar la realidad en forma razonable en el número de casos investigados hasta el momento.

En la gráfica de Figura 5 se muestra la relación entre los valores de Kb y el grado de afectación a humanos a lo largo de toda la ruta; sus valores son reportados en el documento anexo "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito".

En la Figura 5 se aprecia fácilmente que la mayoría de los puntos medidos se ubican por debajo del límite de percepción del ser humanos, sin embargo un porcentaje relativamente alto se ubica entre el límite de escasa percepción y el límite apreciable; el valor más alto de KB percibido es de 0.5801, en el punto de medición 147 ubicado en la progresiva 14681.2, sin embargo este valor no es representativo ni acarrea repercusiones en el desenvolvimiento normal de las personas.

Valor Kb	Grado de Percepción
< 0.1	No percibido
0.1	Límite de percepción
0.25	Escasamente perceptible
0.63	Apreciable
1.6	Fácilmente apreciable
4.0	Fuertemente detectable
10.0	Detectable muy fuertemente

Tabla 2 (DIN 4150 /2) Relación entre valores Kb y la percepción humana de vibraciones

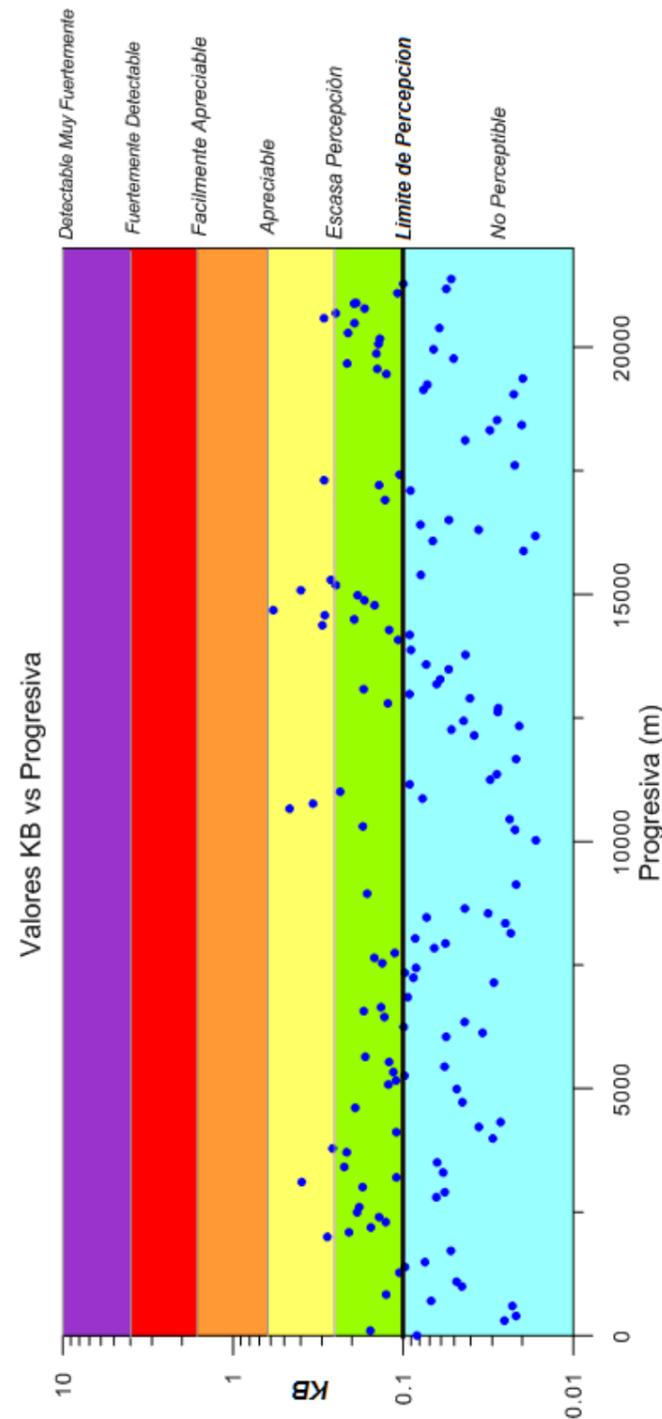


Figura 5: Grado de afectación a humanos en función de la progresiva.

### 3.2 Vibraciones Naturales (VN), Periodo Fundamental

El parámetro de interés para evaluar la respuesta del sitio, es el período natural (fundamental) del sitio (o frecuencia natural). Este se determina a través de las mediciones de las vibraciones naturales de 3 componentes (dos horizontales y una vertical) en el sitio y al procesamiento espectral de la mismas. Estas mediciones corresponden a la variación de la velocidad (en  $\mu\text{m/s}$ ) en el tiempo de las partículas que constituyen el terreno. El período fundamental (el inverso de la frecuencia fundamental) es la relación entre el espectro de las componentes horizontales y la vertical y permite aportar informaciones relativas a la microzonificación en término del comportamiento dinámico de los suelos.

El procesamiento consistió en extraer los espectros (en el dominio de la frecuencia) de las diferentes componentes horizontales y verticales y aplicar la relación de Nakamura entre ellas para obtener la relación espectral de la componente H/V (ó HVSR, ver Figura 6). En cada uno de los puntos medidos se registraron 15 eventos de 60s, a partir de los cuales se obtuvo el valor estadístico del período fundamental. El perfil de período fundamental de la zona investigada en función de la progresiva es presentado en la Figura 7 conjuntamente con el mapa de isoperiodos (Figura 8) a lo largo de la ruta, cuyos valores se reflejan en el documento "TRX\_Producto 2\_Anexo Datos\_Quito".

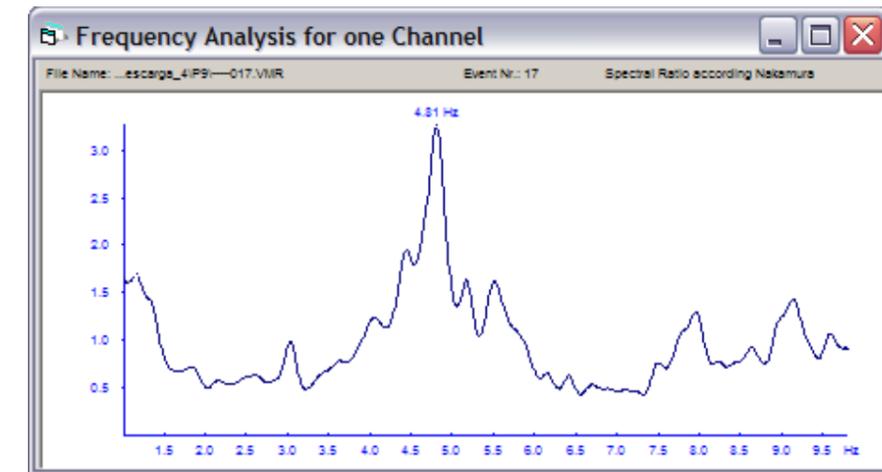


Figura 6: Espectro H/V (HVSR) y valor de frecuencia fundamental (inverso del período) obtenido en la estación de medición nro 9, en la zona sur.

A lo largo de toda la ruta de proyecto se obtuvieron períodos de vibración natural (obtenidos desde la relación espectral entre las componentes horizontales y verticales según el método de Nakamura) que varían entre 0.15s y 0.46s. La Figura 7 muestra un perfil de los periodos medidos a lo largo de la ruta y la correlación con la topografía de la zona. Se observan varias discontinuidades a lo largo de toda la ruta, que se correlacionan muy bien tanto con la topografía como con la geología de la zona. El periodo es representado también en forma de mapa en la Figura 8.

En el área sur, entre las progresivas 0-8200 aproximadamente, los valores de periodos varían entre 0.18s a 0.46s. En la zona de Quitumbe valores relativamente bajos indican una secuencia relativamente más rígida con excepción de un pico relativo asociado a los sedimentos de la Quebrada de Ortega. Los datos se estabilizan alrededor de los 0.3 s desde 2+700 a 5+200 con un pico relativo en correspondencia de la Quebrada El Tránsito. El máximo relativo de los datos (entre la zona del Calzado, 5+200, y aproximadamente la

Magdalena, 8+200) está asociado con un bajo topográfico y la presencia de espesores relativamente mayores de sedimentos lagunares blandos.

En la transición sur a la zona del Panecillo se observan otros cambios relativos abruptos, que en la zona del río Machángara (8+500-8+600) son interpretados como estructuras tectónicas. En el Panecillo, alrededor del abscisado 9+500-11+000, se observan los valores más bajos en asociación a una secuencia más rígida y, probablemente, a la presencia de un substrato asociable a roca "sensu strictu" relativamente más superficial. Las transiciones a esta zona (~9+500) y en proximidad de la Plaza de S. Francisco (~11+000), además de transiciones laterales de origen litológicas podrían ser asociadas a elementos estructurales.

Desde el abscisado 11+000 a 14+000 los valores de periodo fundamental se mantienen bastante estables alrededor de 0.3 s a indicación de una relativa homogeneidad en la distribución de la cobertura y substrato geotécnico.

En correspondencia de El Ejido, un cambio abrupto de periodo pudiese comprobar las observaciones desde sensores remotos que evidencian la posible presencia de una estructura geológica que cruza la ruta y define la transición a una zona con periodos más bajos (0.18s-0.25s) a indicación de un contraste de impedancia asociado al substrato geotécnico más superficial y/o una secuencia más rígida. Relativa excepción a esto es observada alrededor del abscisado 20+000 donde valores de alrededor 0.30s son asociados a sedimentos de la Quebrada Caceido.

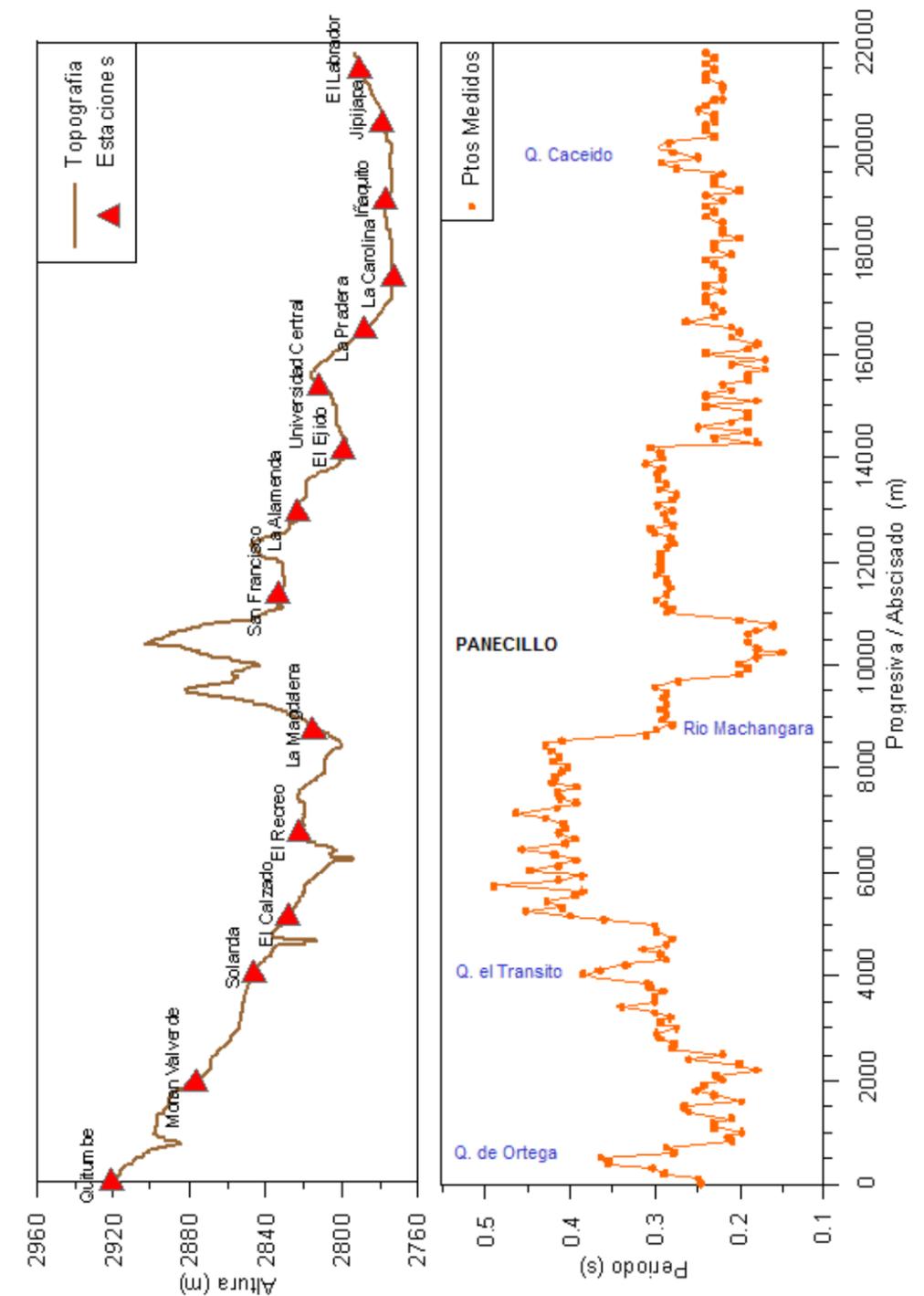


Figura 7: Perfil topográfico y período fundamental en función del abscisado/progresiva.

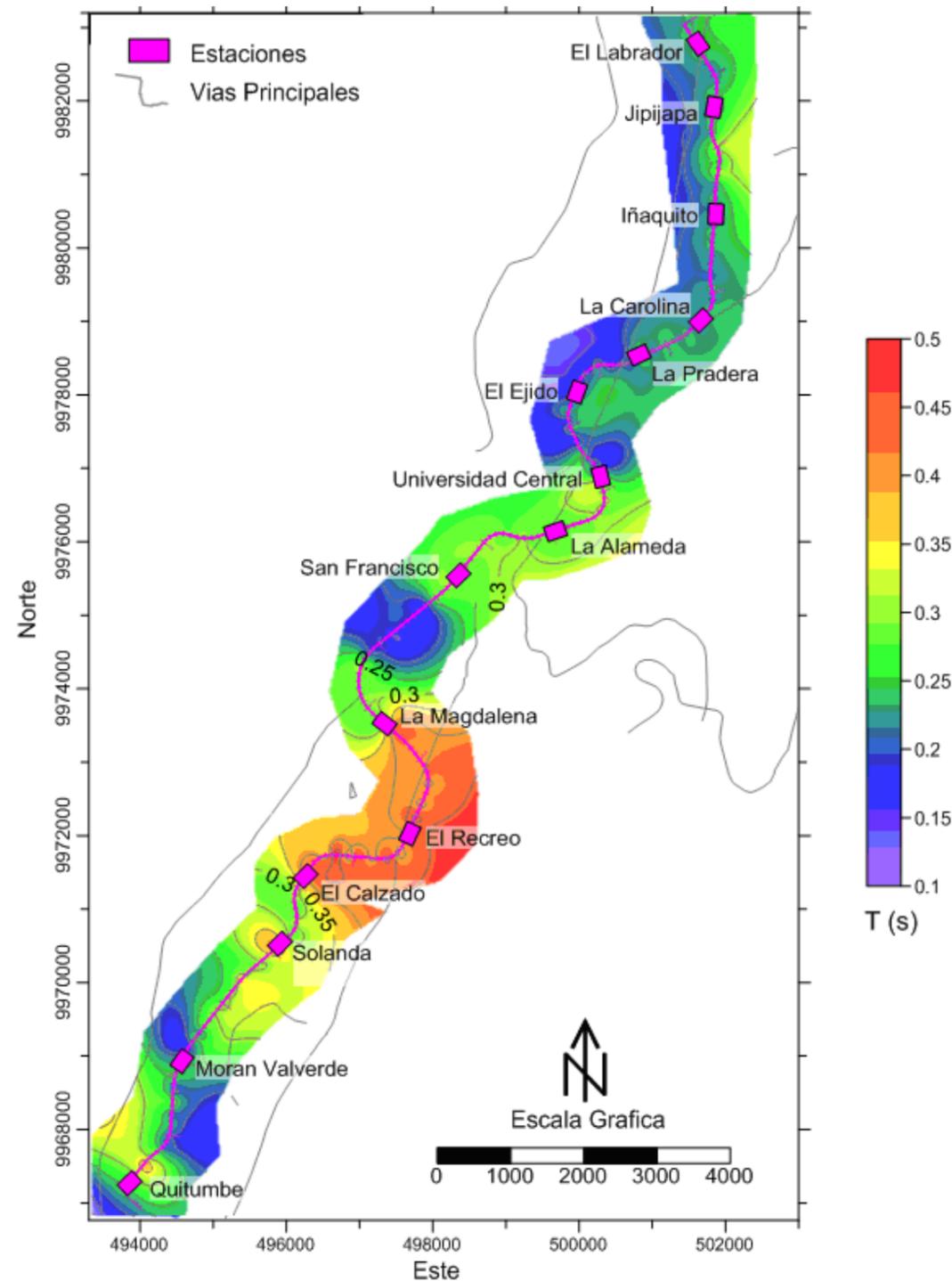


Figura 8: Mapa de Isoperiodos a lo largo de la ruta de estudio.

#### 4. CONCLUSIONES

##### Línea Base Afectación a Estructuras & Personas (DIN 4150 2/3)

La línea base de monitoreo de vibraciones tiene como objetivo definir un entorno de referencia para la ruta previamente al inicio de las obras de construcción del Metro. Los valores reportados son limitados temporalmente y quieren representar una plataforma de datos a ser desarrollada en función de un análisis específica de la sensibilidad de los edificios y construcciones a lo largo de la ruta.

##### Afectación a Estructuras.

Según la norma DIN4150/3 para dos tipos de edificaciones (Clase2=edificios residenciales y Clase3=edificios sensibles y de interés histórico). La medición de los valores pico máximos de velocidad de partícula (suma vectorial de las tres componentes de vibración) y su frecuencia asociada se encuentran en su mayoría por debajo de los límites posibles de afectación a estructuras en ambiente urbano. Como excepción a esta observación se identifican cuatro puntos críticos debidamente identificados. El pico máximo registrado en el área tiene un valor de 3.74 mm/s; este pico se ubica en la progresiva 12+026 en el punto de medición 120 en los alrededores de la Plaza la Independencia ubicada en el centro histórico. Este pico excede el límite normativo para edificios históricos.

##### Afectación a Personas.

Según la norma DIN4150/2 que evalúa el límite de percepción del ser humano, el 69.5% de los puntos medidos se localizan por debajo del "Límite de percepción"; mientras que el 30.5% de los puntos corresponden mediciones con "Escasa percepción", en donde se recomienda ser previsorio ya que en esta zona la percepción al ser humano puede elevarse con la incorporación de la actividad de excavación y la operación de la infraestructura.

##### Caracterización de Ruta

Los periodos obtenidos a través de los estudios de vibraciones naturales varían entre 0.15s y 0.46s. Estos periodos relativamente bajos son correlacionados con una capa resonante superficial relativamente poco espesa de suelos y sedimentos semi blandos por encima de un substrato más rígido, duro/denso, con un marcado contraste de impedancia en su transición. Estos valores parecen inicialmente contrastar con evidencias de las perforaciones que, particularmente en el sur, evidencian espesores de sedimentos hasta mayores de 50m. La respuesta a esta observación se encuentra en la correlación con las perforaciones que evidenciaron, con ensayos SPT y sísmicos tipo downhole, fuertes contrastes de rigidez tanto entre los mismos sedimentos en el sur, como en la transición entre suelos semi blandos superficiales y substrato asociable a sedimentos compactados y a la formación Cangahua en el centro y en el norte de la ruta. Esto también se ha comprobado espacialmente con el estudio de sísmica por micro tremores (pasiva). Prácticamente se evidenció que un nivel inferior de los sedimentos puede asociarse a depósitos de edad mayor (pleistocénica) y consecuentemente mayor rigidez respecto a los sedimentos más recientes de similar litología. Cabe destacar que, en lugares de la parte norte, el primer análisis de datos downhole reporta velocidades de ondas de corte en la parte basal de los sedimentos (asociados a Pleistoceno) mayores de las velocidades de la formación definida como Cangahua. Por lo tanto los valores de periodos observados no son asociados al contraste sedimentos – roca (como en el caso de sedimentos holocénicos sobre un basamento rocoso) sino a un contraste de impedancia entre sedimentos recientes y antiguos y/o suelos/sedimentos recientes y substrato asociado a la formación Cangahua.

En los datos, picos de HVSR/Nakamura con periodos mayores de los reportados son observados en forma discontinua solo en la parte sur alrededor al valor de 1 segundo (1 Hz). Estos puntos no son reportados por el interés ingenieril de la obra estudiada que ha requerido focalizar la atención en la parte superficial de la secuencia investigada y por no haber sido observados en la parte central y norte de la ruta. Estos picos, todavía, parecen asociarse a una transición a velocidades mayores de 800 m/s observada en los perfiles de micro tremores profundos (datos reportados en el reporte de Respuesta Sísmica Local).

#### Recomendaciones

En relación a los estudios de vibraciones naturales, se recomienda la ejecución de estudios adicionales de afectación vibraciones a estructuras y personas en las singularidades mencionadas en el reporte de caracterización de ruta al fin de evaluar la posible interacción entre la componente geológica/geotécnica, las realidades sociales y urbanísticas (elemento que será más claro al terminar los estudios de afectación y ambiental) y los planos ingenieriles. La ejecución de estos estudios adicionales tendría que ser extendida a estructuras esenciales y a edificios de interés históricos. Es importante resaltar como singularidades de baja velocidades de ondas de corte asociada a sedimentos blandos correspondan a zonas de interés social (Solanda – Calzado) donde ya se reportan afectaciones a estructuras debido a la componente geológica. Por otro lado en la zona norte, donde la ruta del metro es programada ser más superficial, condiciones observadas de alta rigidez podrían permitir una amplificación de un cierto tipo de frecuencia de vibraciones (como evidenciado en el modelado dinámico de Plaza de Toros). Esto dos aspectos de interacción suelo estructuras bajo inducción de vibraciones tendrían que ser evaluados y apropiadamente monitoreado.

#### 5. DECLARACION DE CALIFICACION

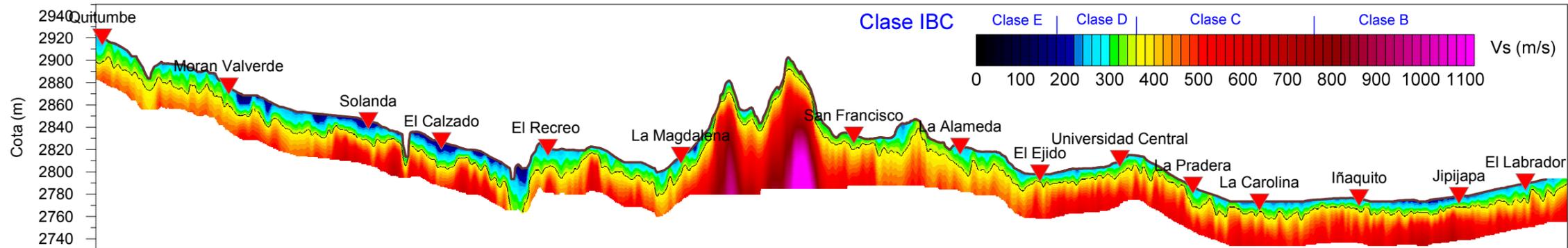
Aldo Cataldi, italiano, residente en Caracas Venezuela, certifica que:

1. Me gradué con el título de Master (Geología) en la Universidad de Pisa, Italia (1985).
2. Tengo un título de Master en Ingeniería Geofísica de la Escuela de Minas de Colorado, EE.UU. (1990).
3. Soy el Presidente de T.R.X. Consulting C.A., una compañía especializada en consultorías de servicios de exploración & ingeniería.
4. He practicado mi profesión con actividades de consultoría en ciencias de la tierra desde el 1985 y he aplicado la geofísica y la integración de métodos geocientíficos en diversos países de America, África, Europa y Asia.
5. Soy el autor del presente reporte.
6. Supervisé a la etapa de adquisición, control de calidad - validación de los datos, el procesamiento & interpretación de los mismos y soy el autor de este reporte. Los resultados mostrados aquí representan mi mejor opinión y juicio, basado en la información disponible al momento de escritura de dicho reporte.

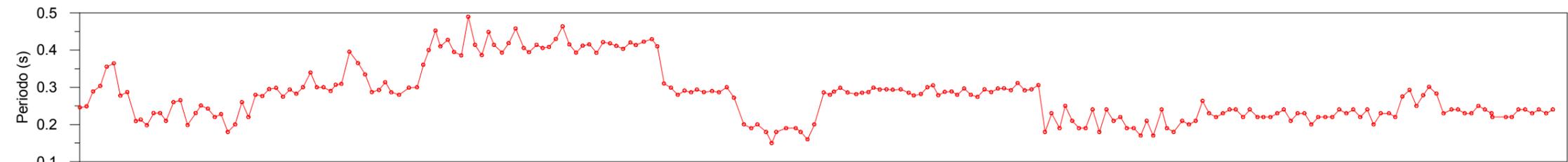
Realizado en Quito, Ecuador, el 22 de Diciembre de 2011.



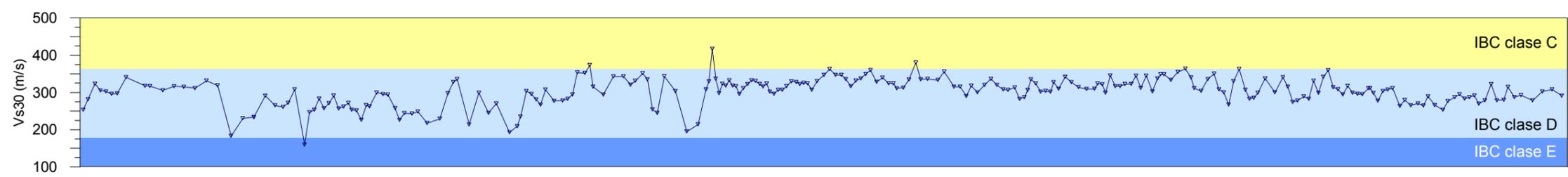
Aldo Cataldi, M.Sc.



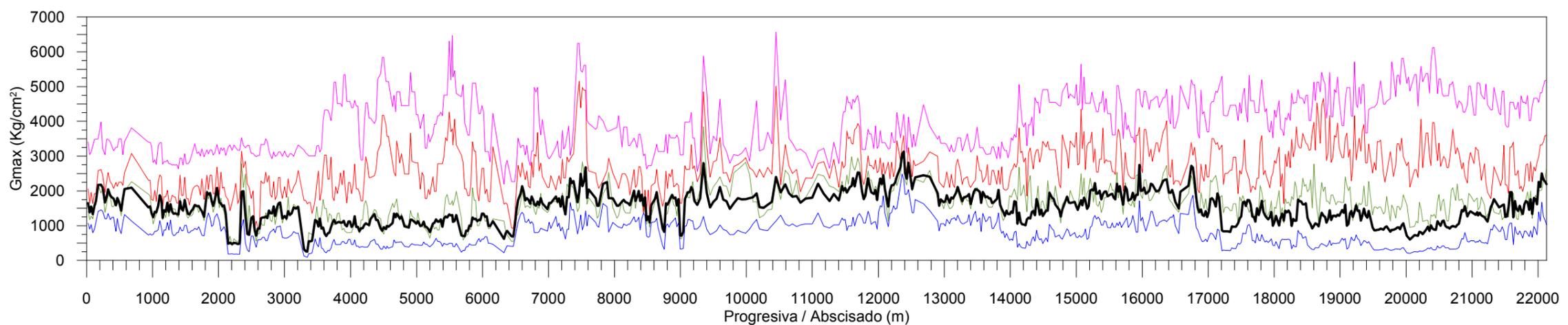
Perfil de Topografía & Tomografía Vs ReMi



Periodo Fundamental (s)



Velocidad de onda de corte Vs30 (m/s)



Perfil de Rigidez (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- ▼ Estaciones
- Topografía (m)
- ▬ Vs ReMi (m/s)
- Periodo fundamental (s)
- Curva de Vs30 (m/s)
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m
- Rigidez máxima (Gmax) promedio en los 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos:  
DAQlink III, Iseis Sigma, Syscom GE

Geofonos:  
OYO Geospace 4.5 Hz, Syscom 2003+

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

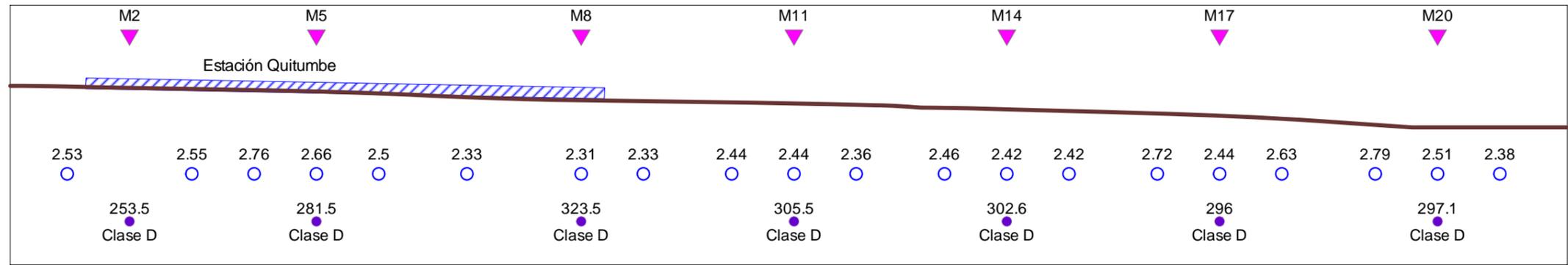
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 16/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Tomografía Vs, Periodo Fundamental  
Vs30 & Perfiles de Rigidez  
Progresiva 0+000 al 22+130 m

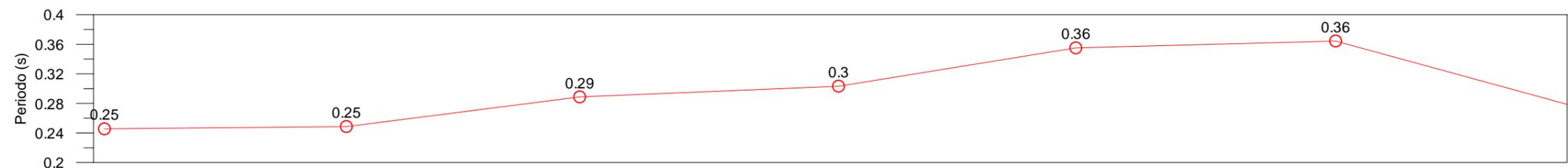


Modelos Centrales

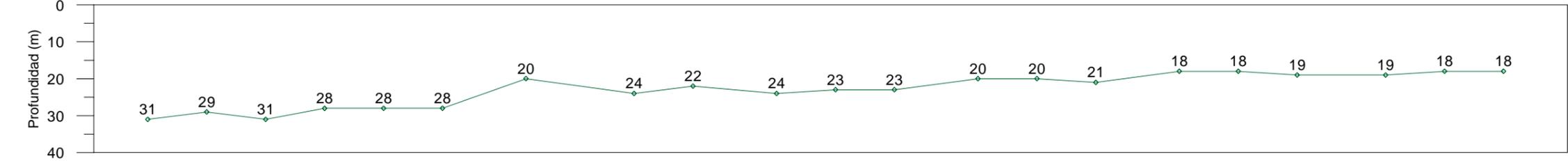
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

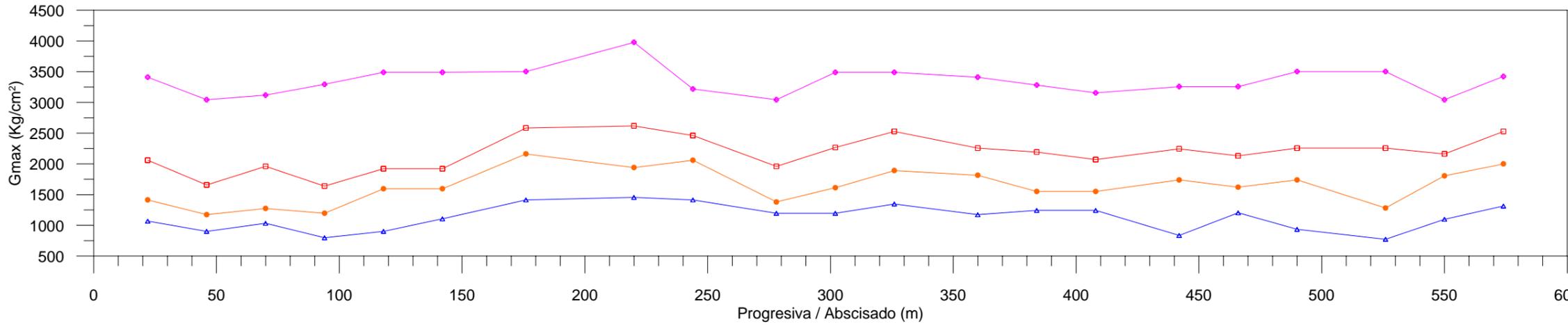
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Quitumbe, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

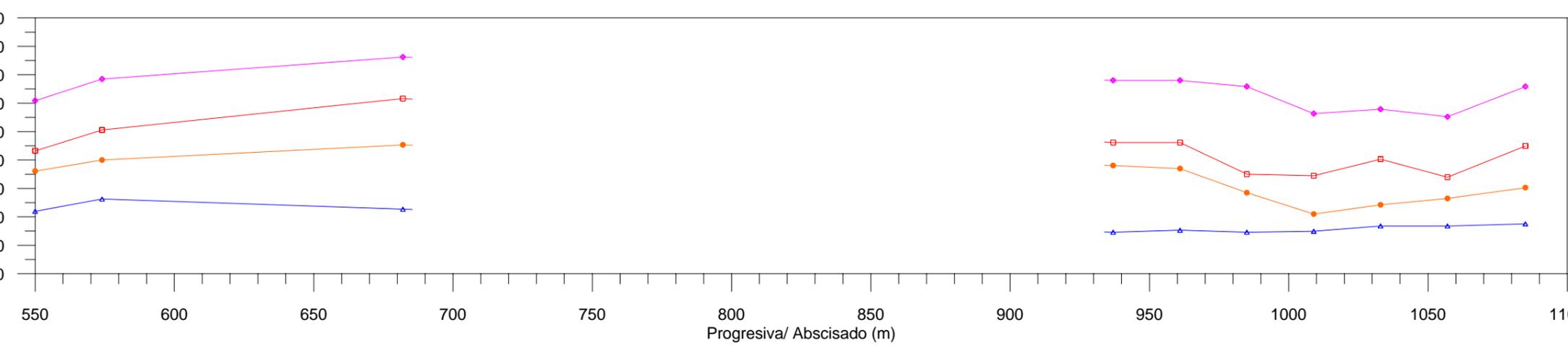
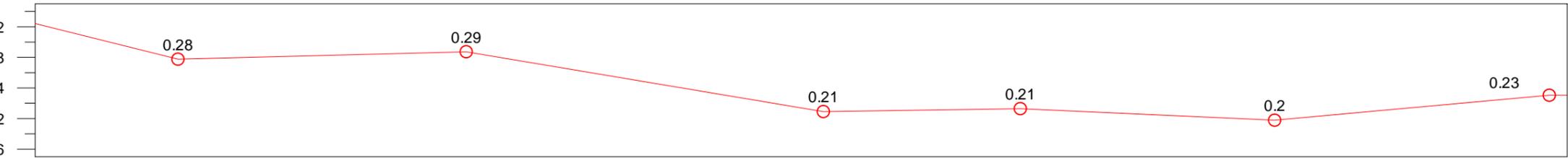
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 28/10/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 0+000 al 0+600 m



Modelos Centrales

Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

Vs30 (m/s) / Clasificación IBC

Periodo Fundamental (s)

Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso

Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Qulumbi, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

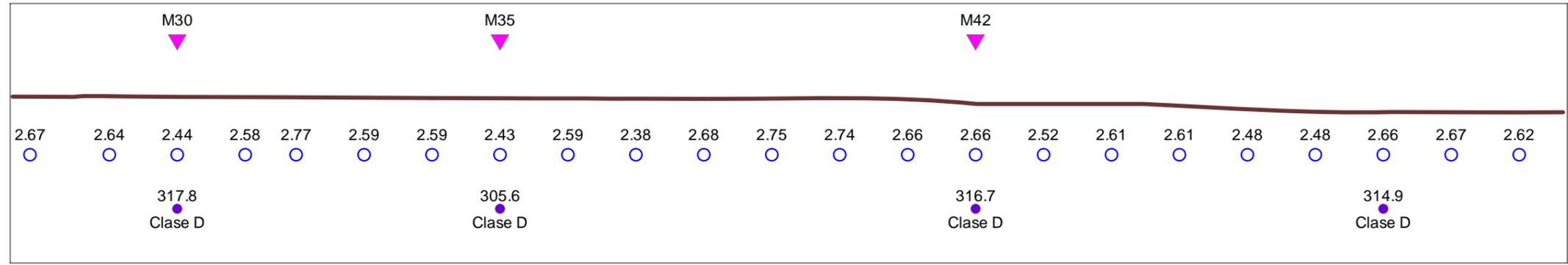
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 0+550 al 1+100 m

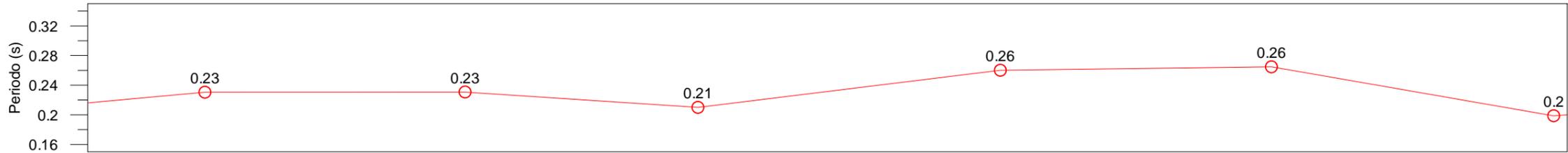


Modelos Centrales

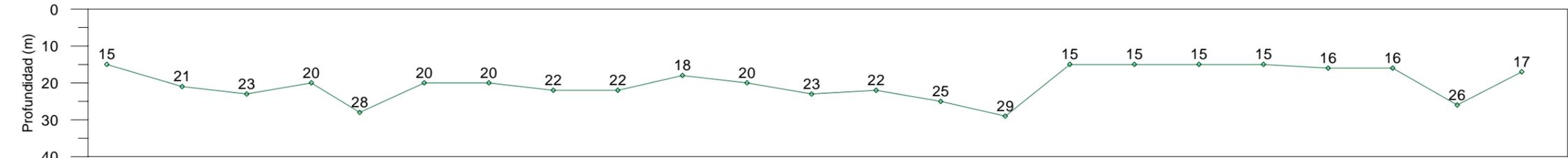
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

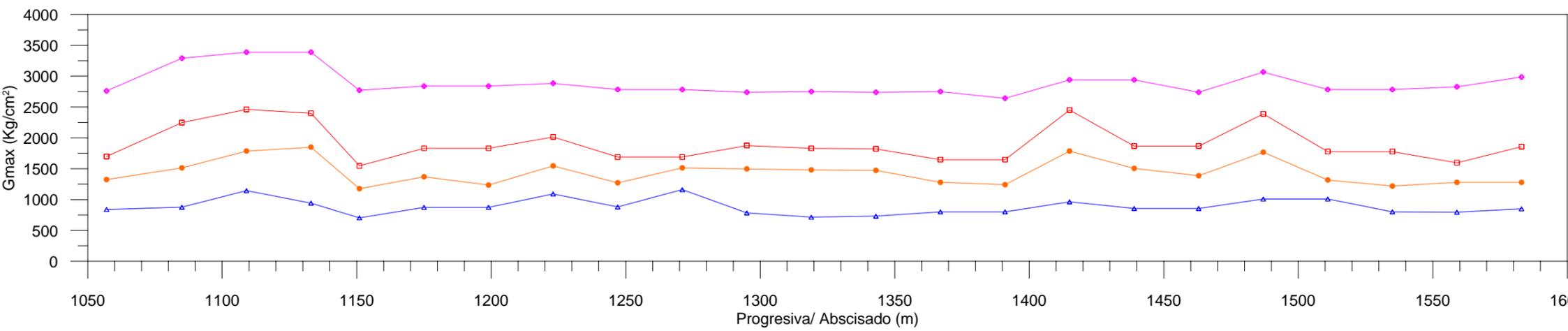
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

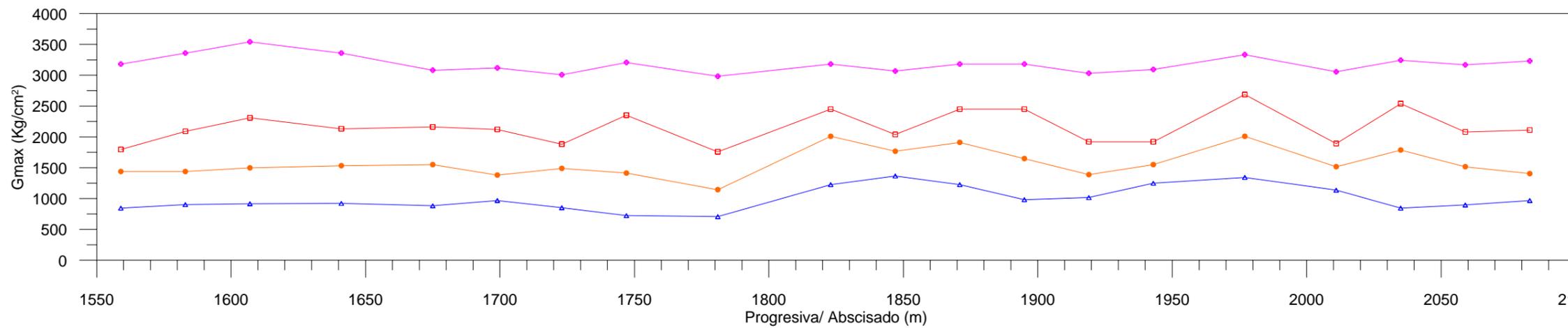
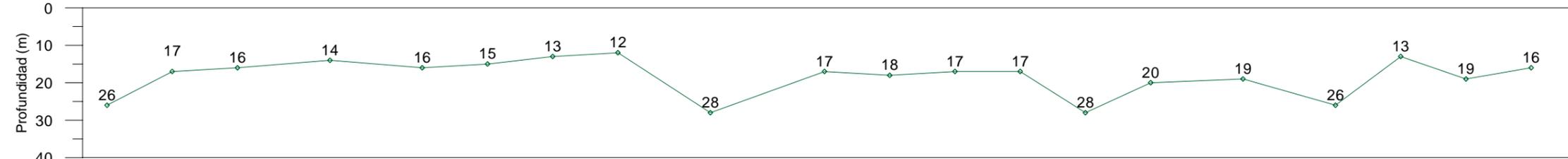
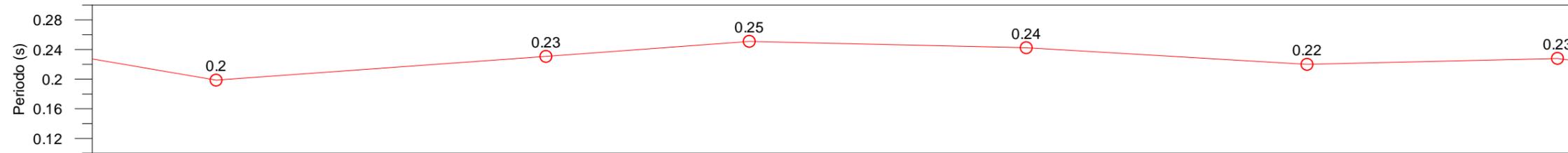
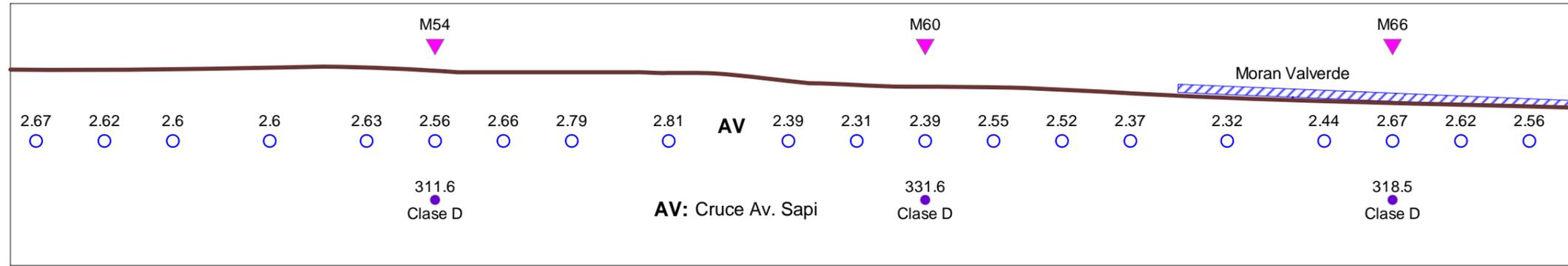
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 1+050 al 1+600 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

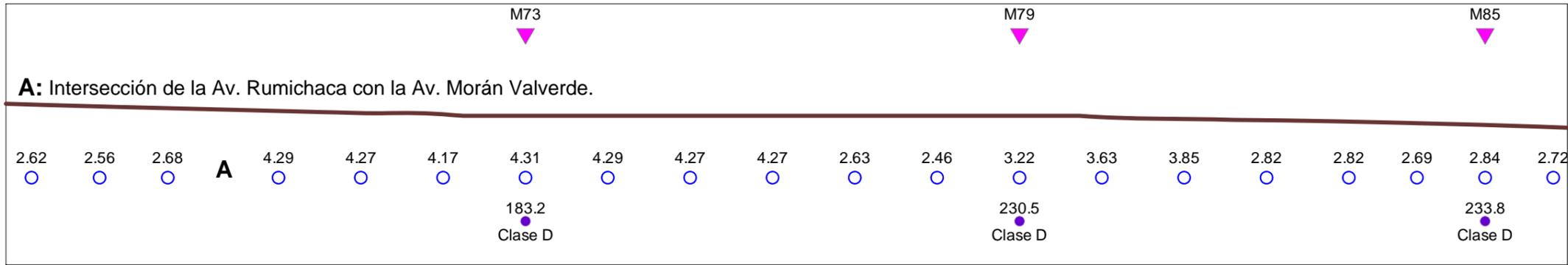
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 1+550 al 2+100 m

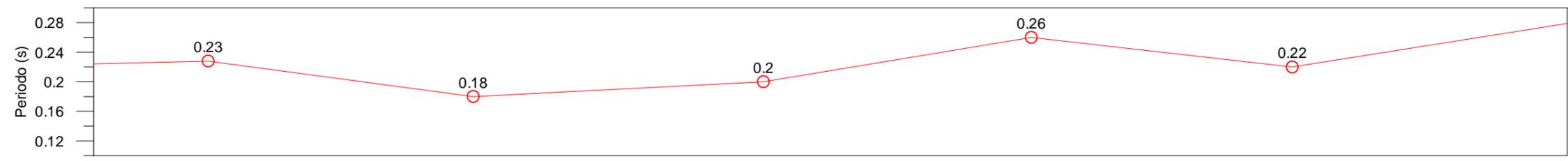


Modelos Centrales

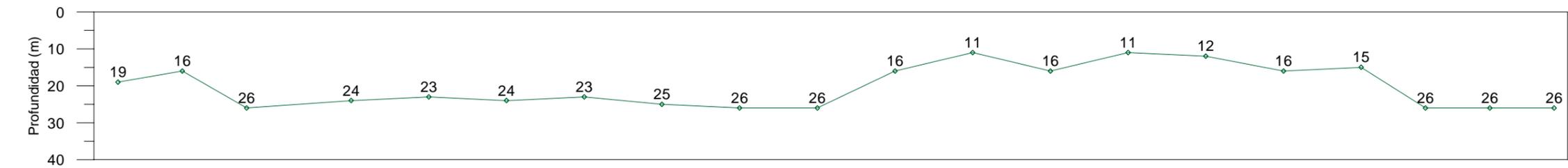
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

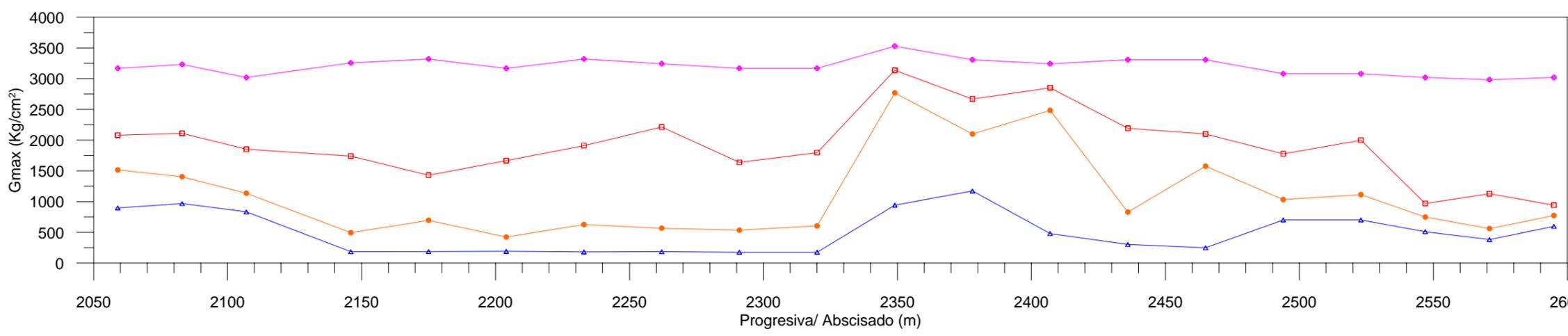
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Qulumbi, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0, 2, 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

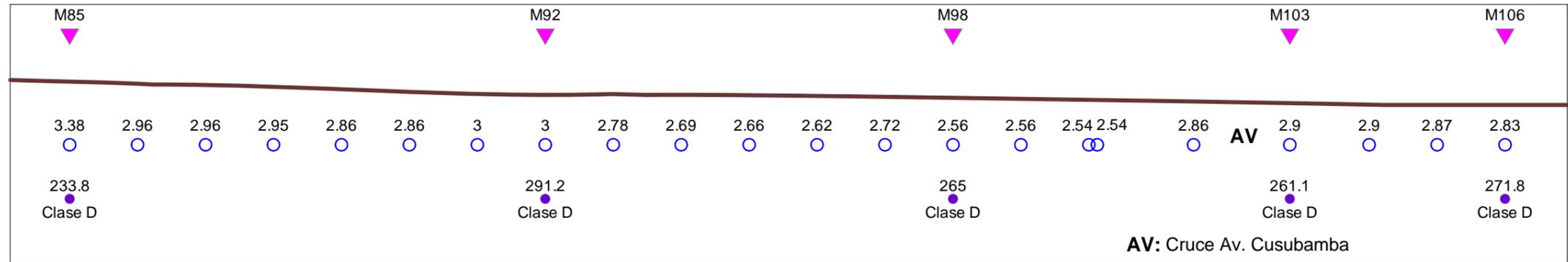
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 10/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 2+050 al 2+600 m

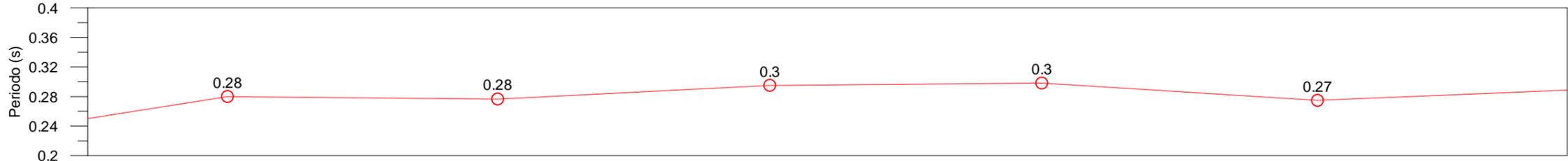


Modelos Centrales

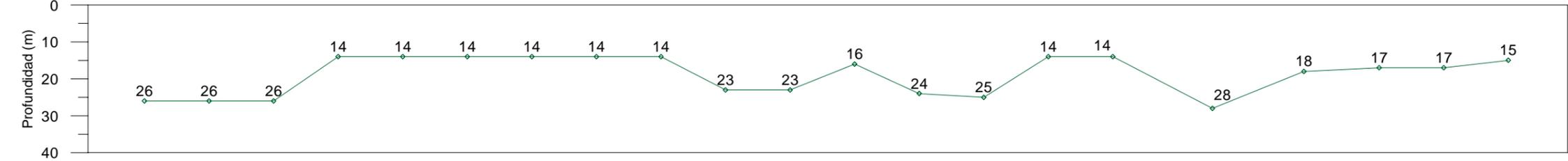
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

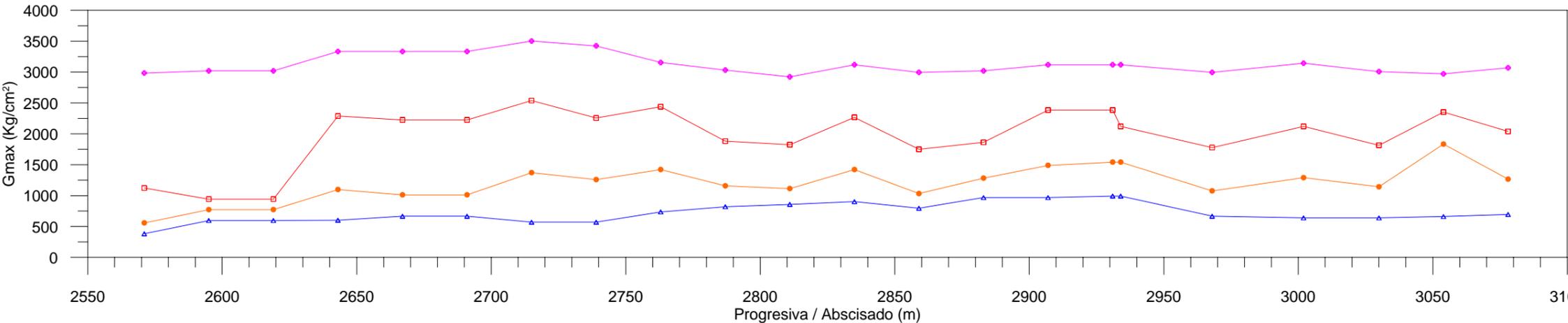
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm<sup>2</sup> a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- ▲— Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- ◆— Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

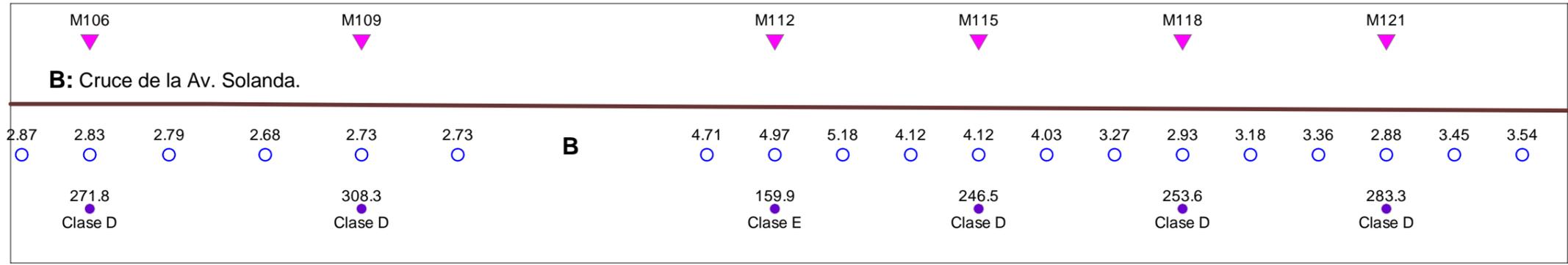
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 2+550 al 3+100 m

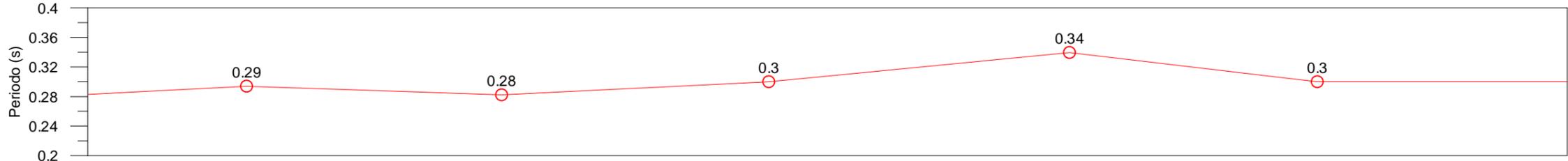


Modelos Centrales

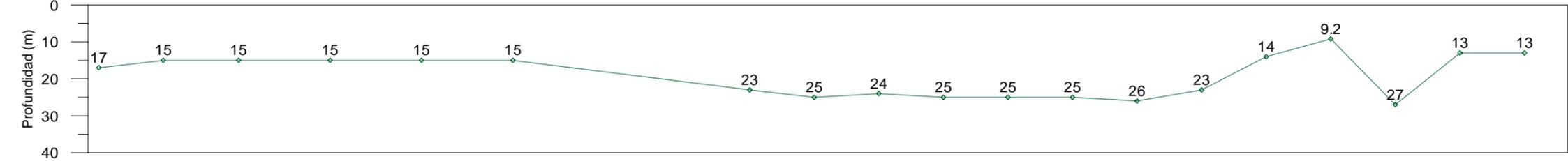
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

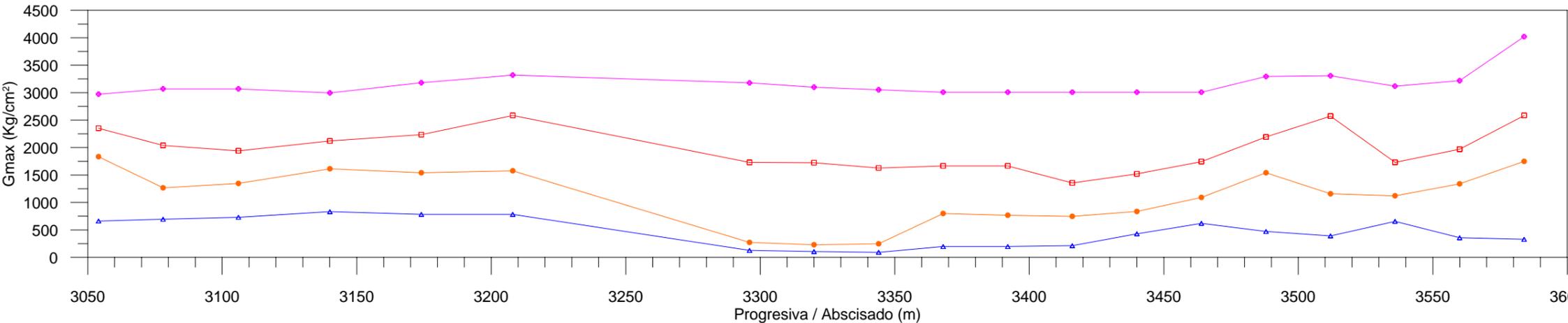
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

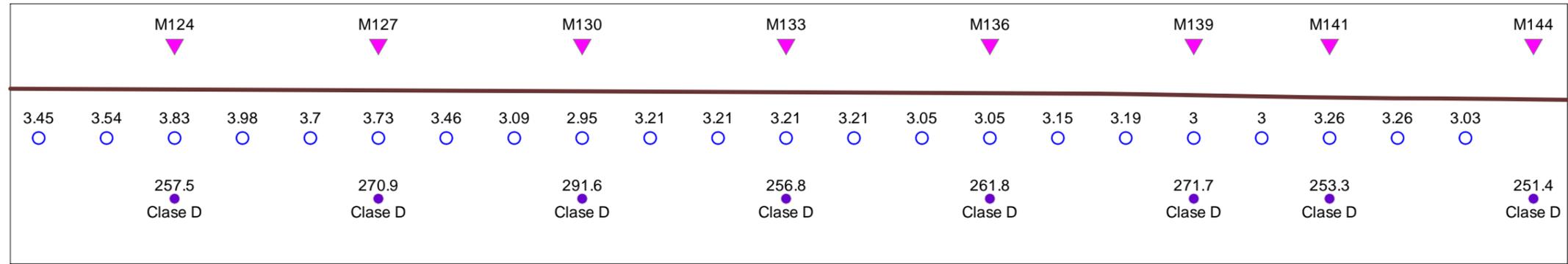
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 3+050 al 3+600 m

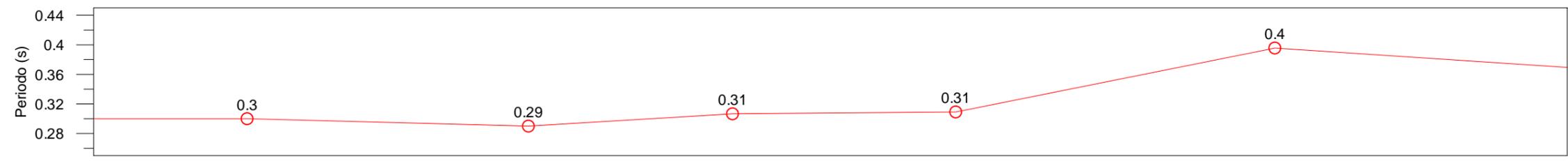


Modelos Centrales

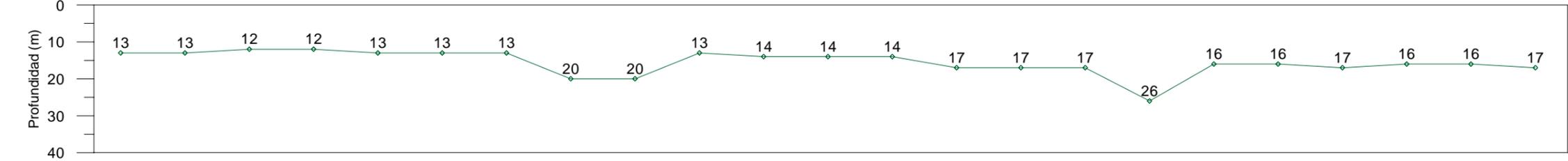
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

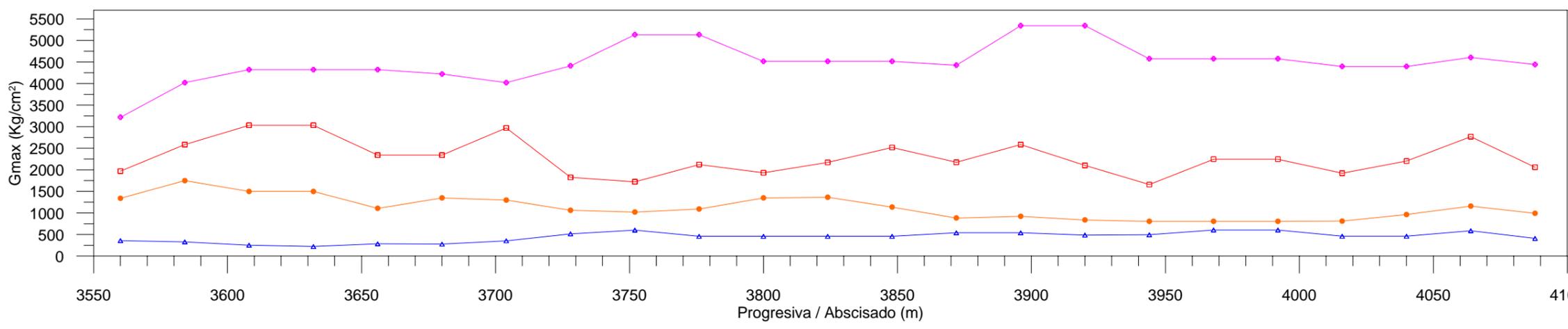
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

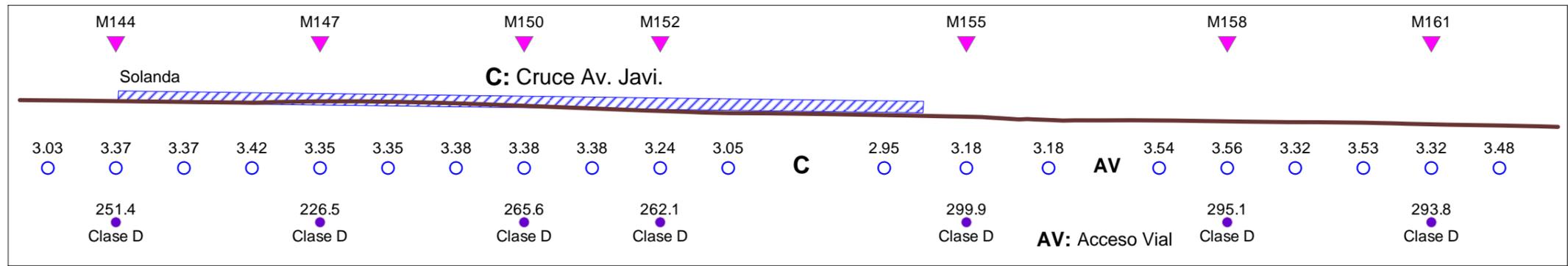
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 3+550 al 4+100 m

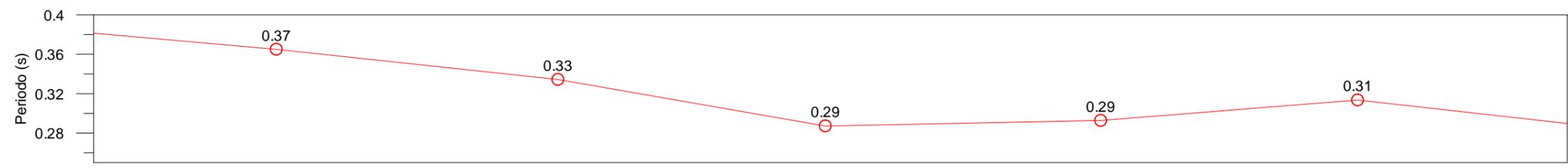


Modelos Centrales

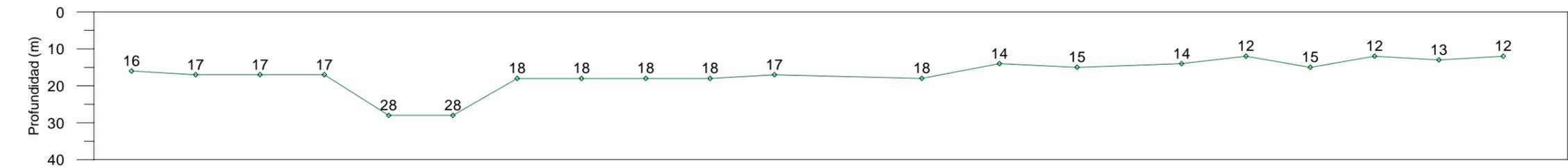
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

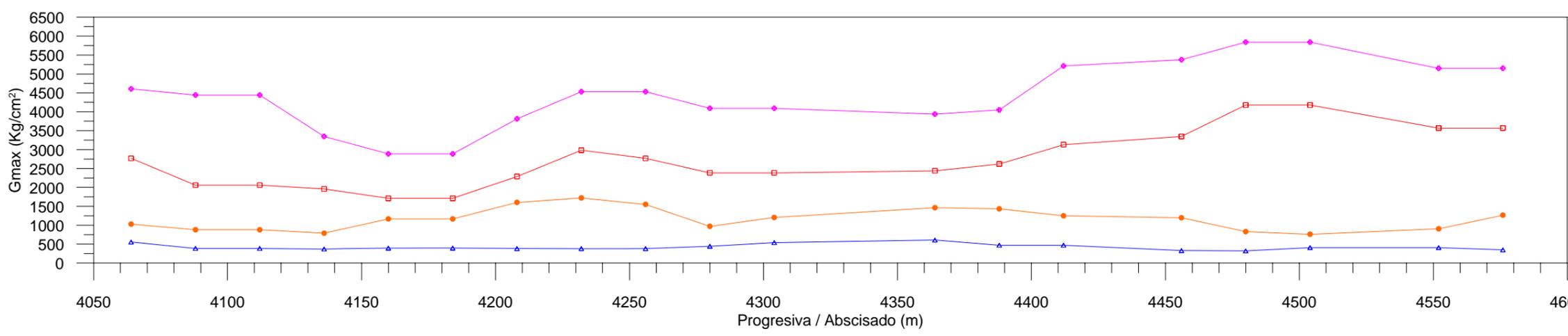
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

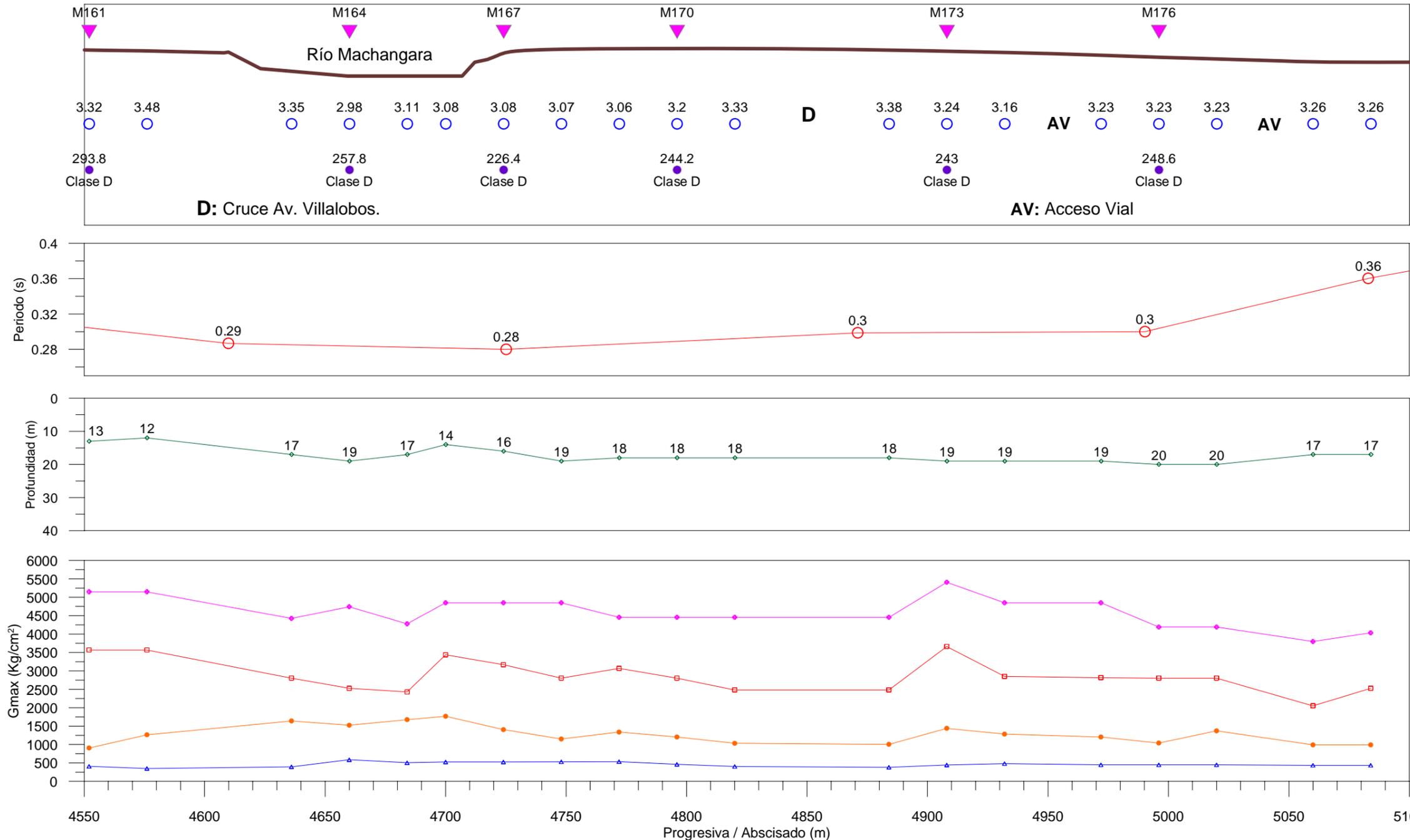
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 4+050 al 4+600 m



Modelos Centrales

Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmica en Superficie

Vs30 (m/s) / Clasificación IBC

Período Fundamental (s)

Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso

Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm<sup>2</sup> a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Qulumbi, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

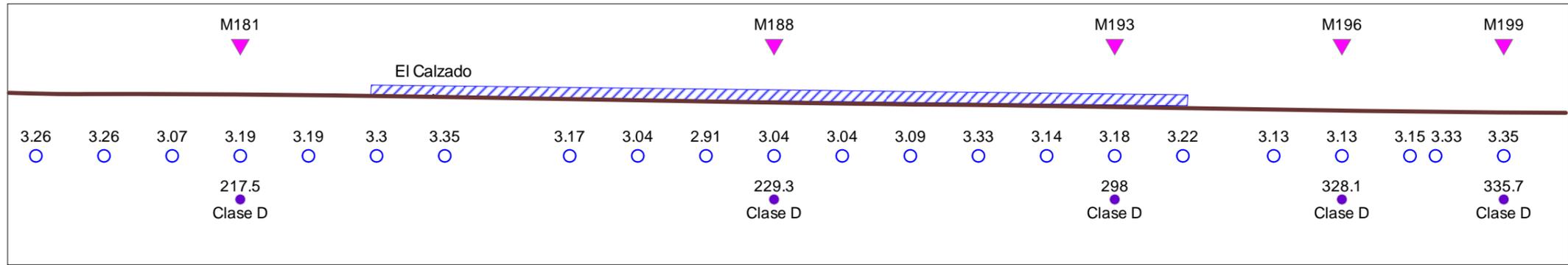
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 28/11/11

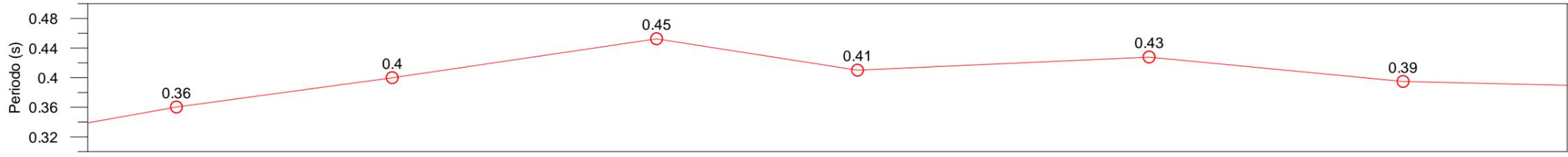
**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

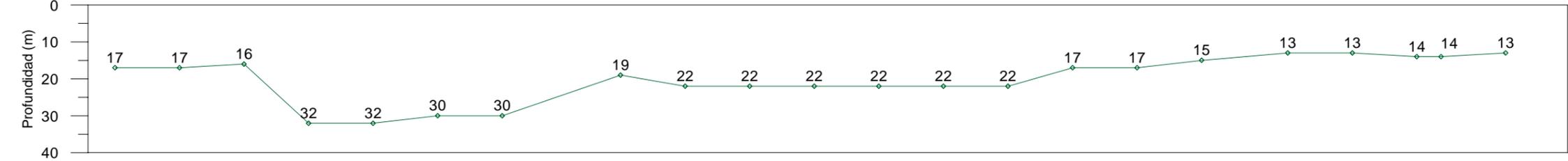
Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 4+550 al 5+100 m



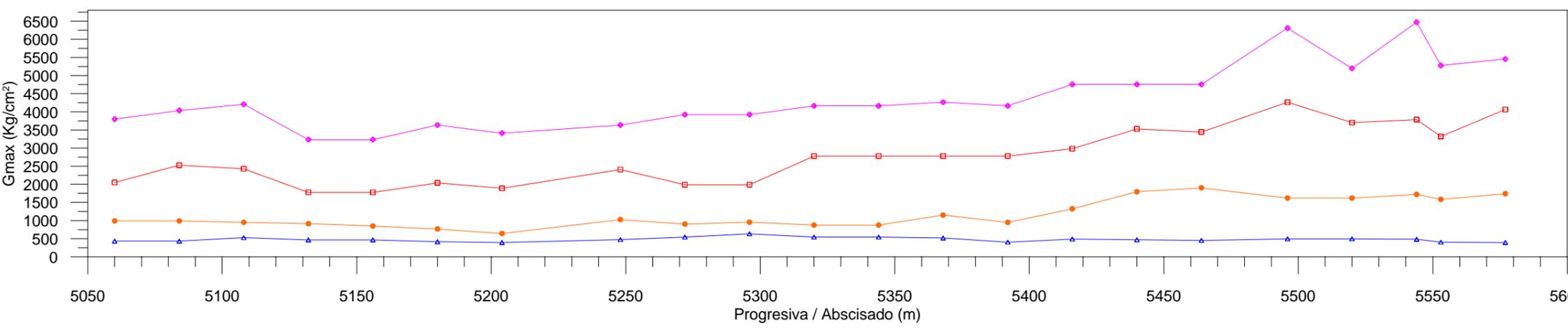
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmica en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0, 2, 4 Km

**Escala gráfica**

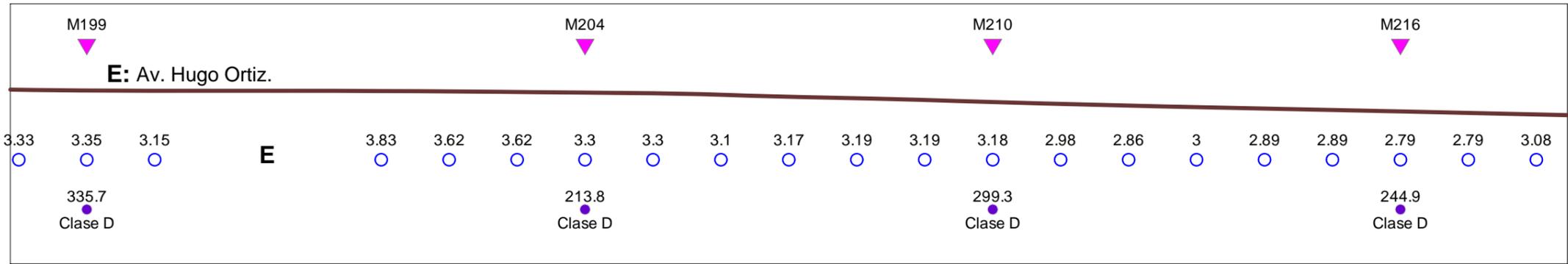
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 5+050 al 5+600 m

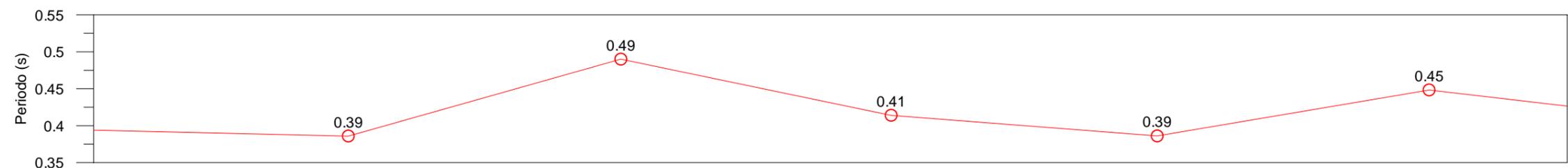


Modelos Centrales

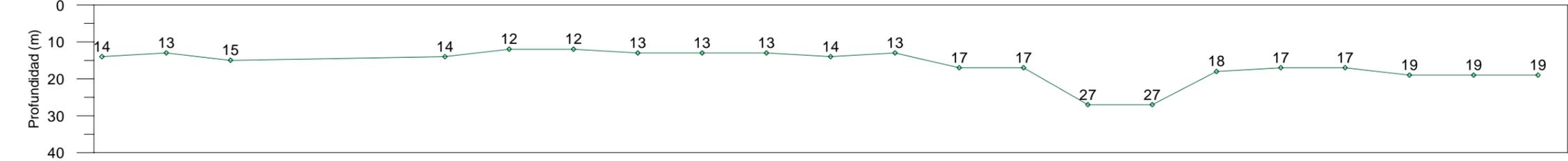
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

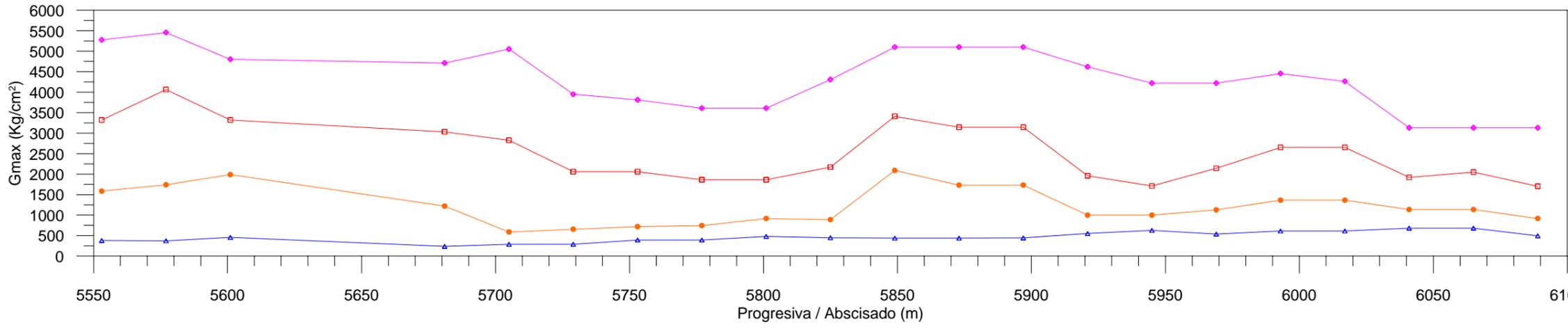
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

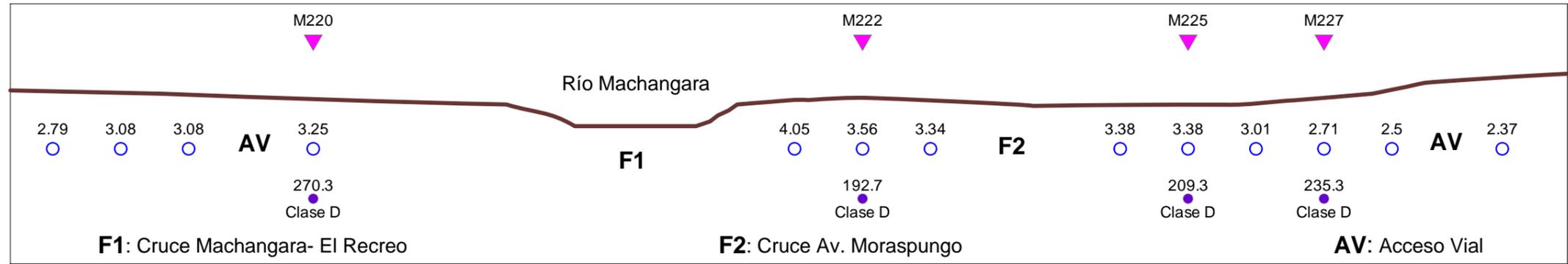
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 5+550 al 6+100 m

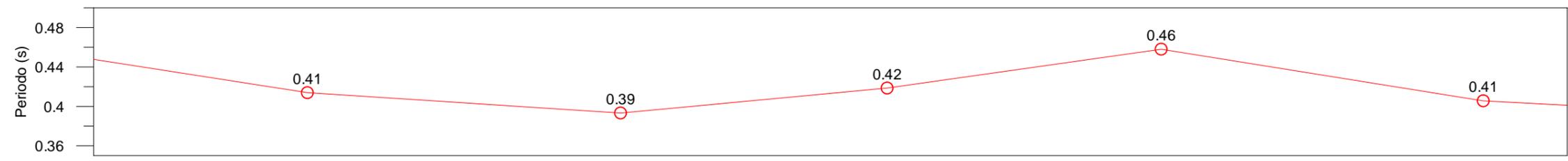


Modelos Centrales

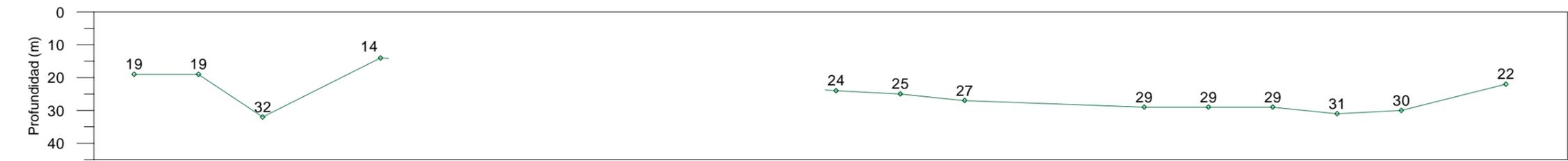
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

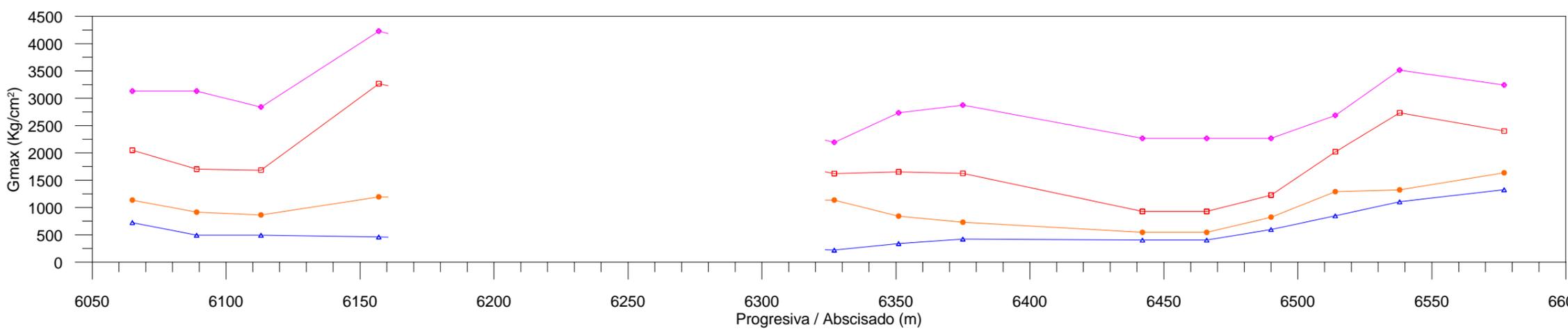
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismografos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

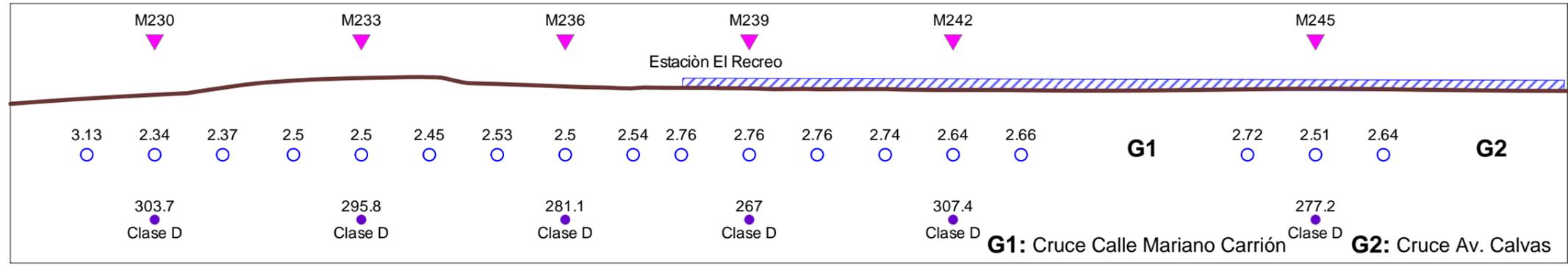
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

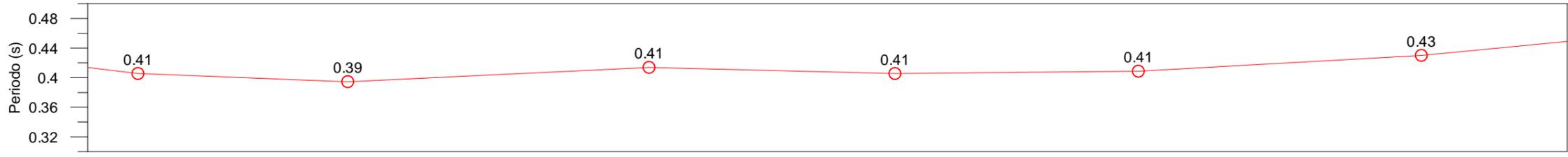
**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

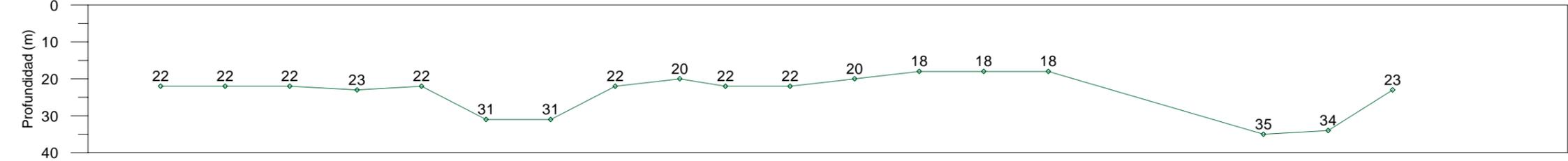
Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 6+050 al 6+600 m



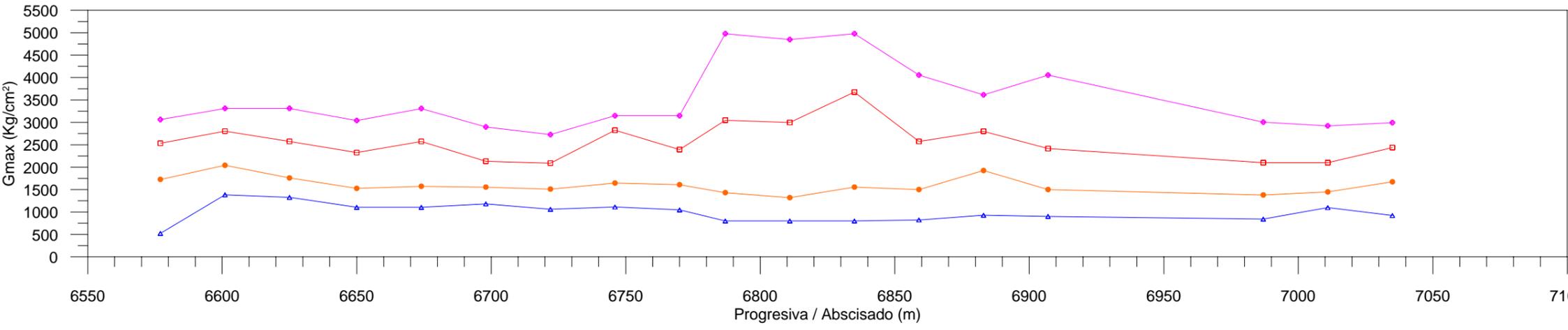
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- ◆ Transición suelo semiblando/duro
- ▲ Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- ◆ Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

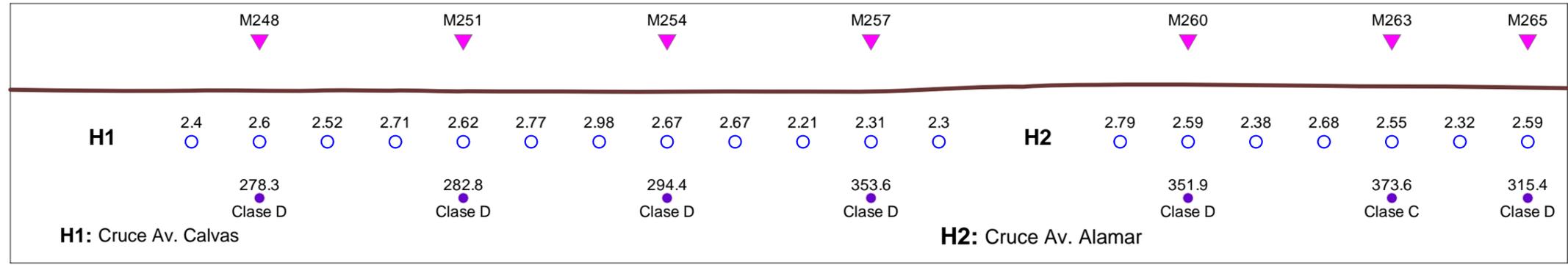
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

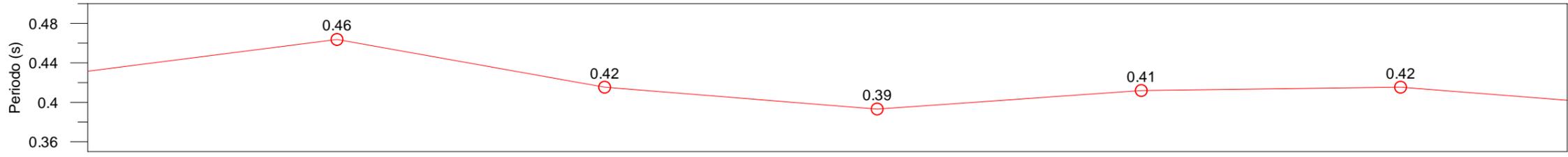
**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

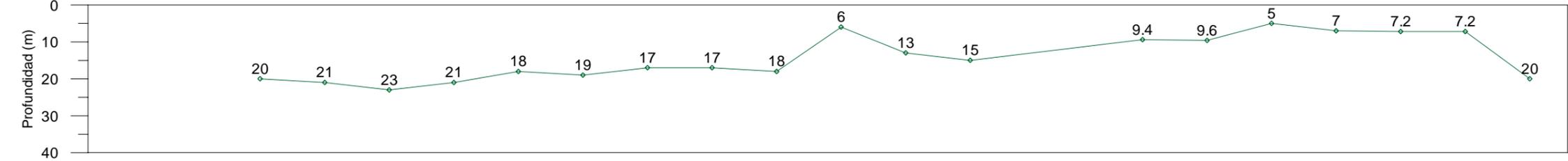
Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 6+550 al 7+100 m



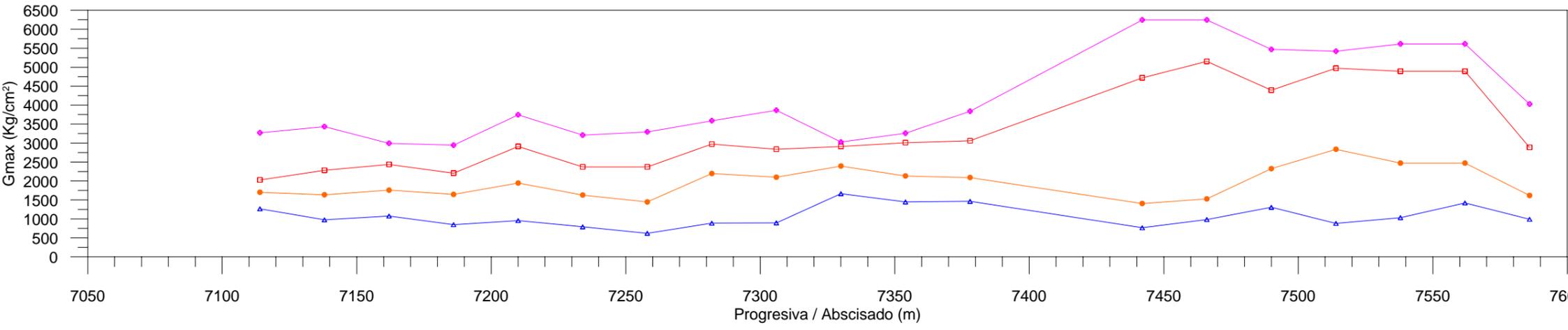
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmica en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**  
 Vías Principales  
 Ruta del Metro  
 Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

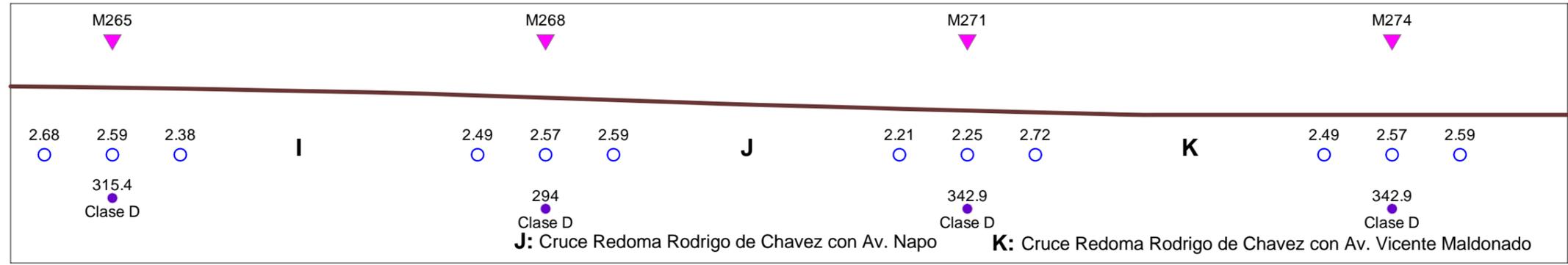
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

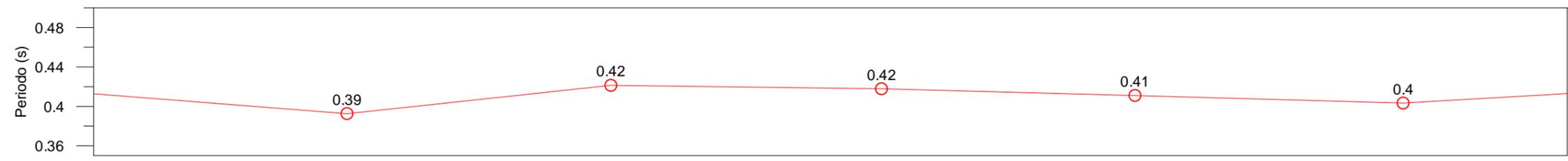
**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

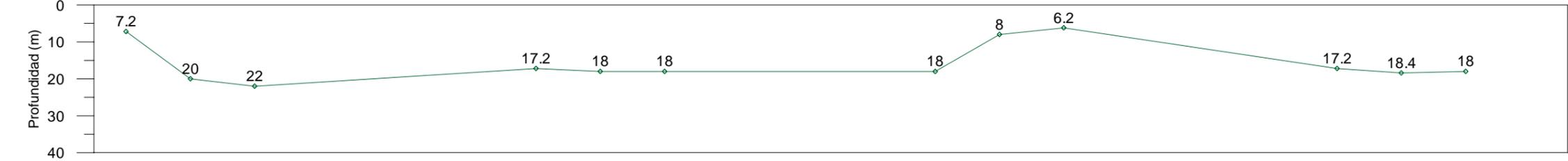
Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 7+050 al 7+600 m



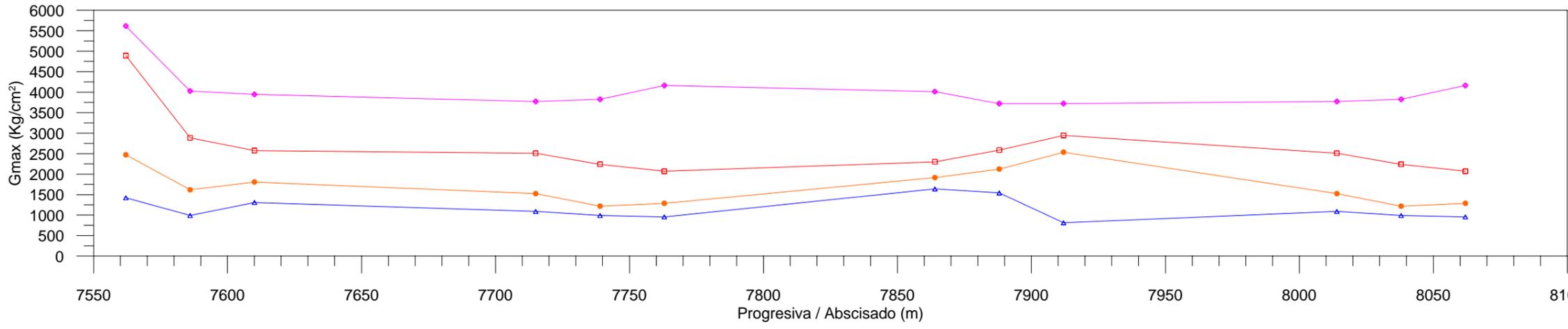
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- ▲— Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- ◆— Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

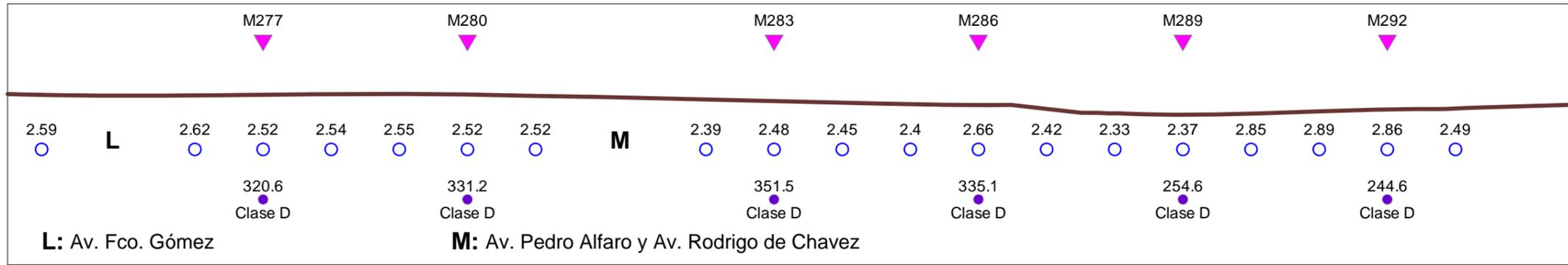
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

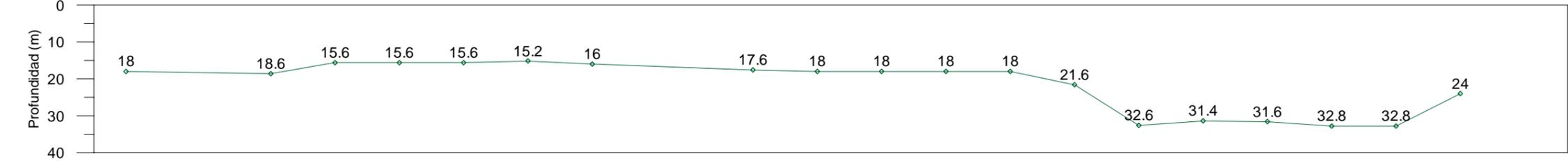
Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 7+550 al 8+100 m



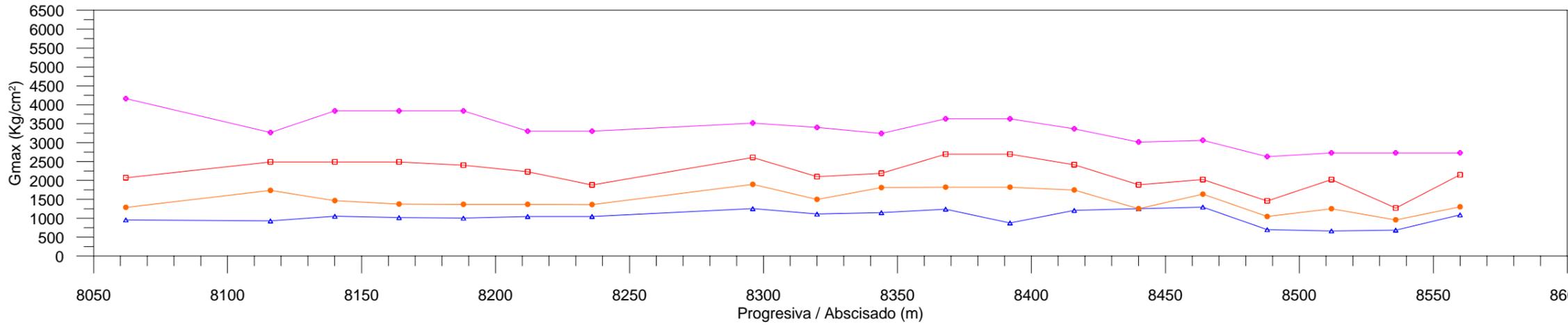
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

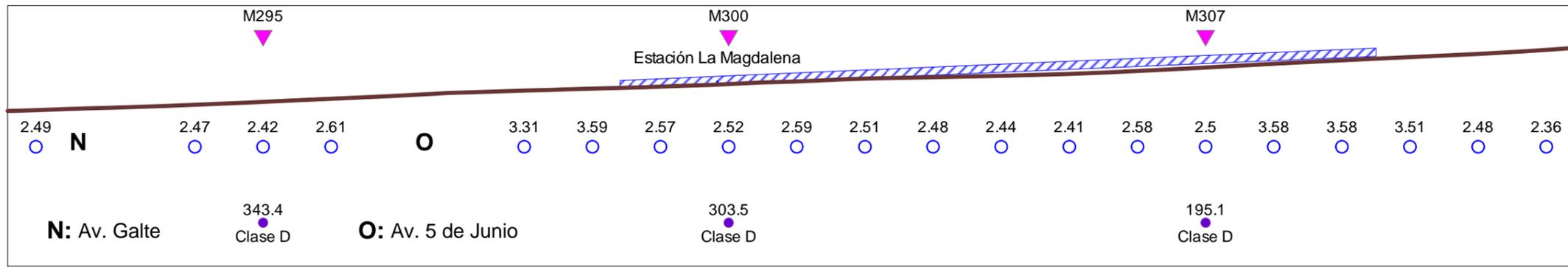
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

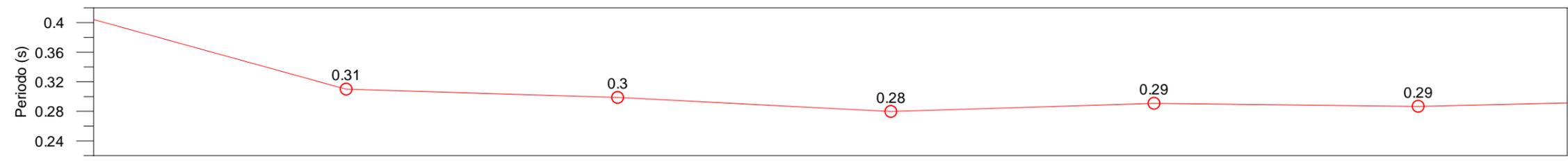
**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

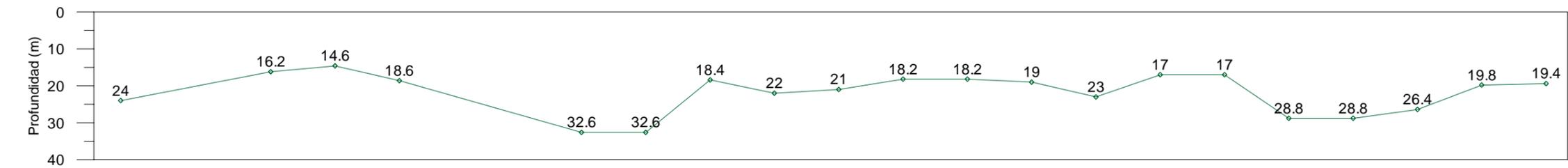
Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 8+050 al 8+600 m



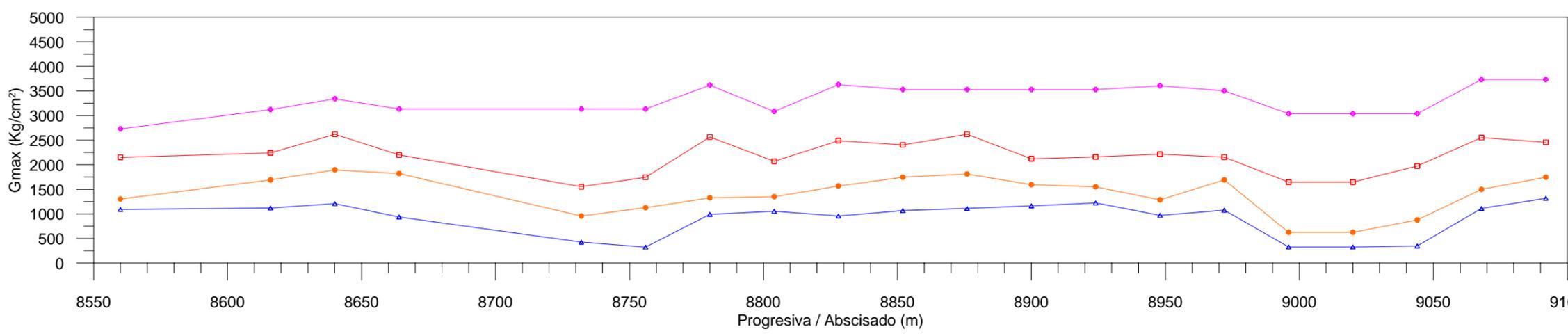
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmica en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

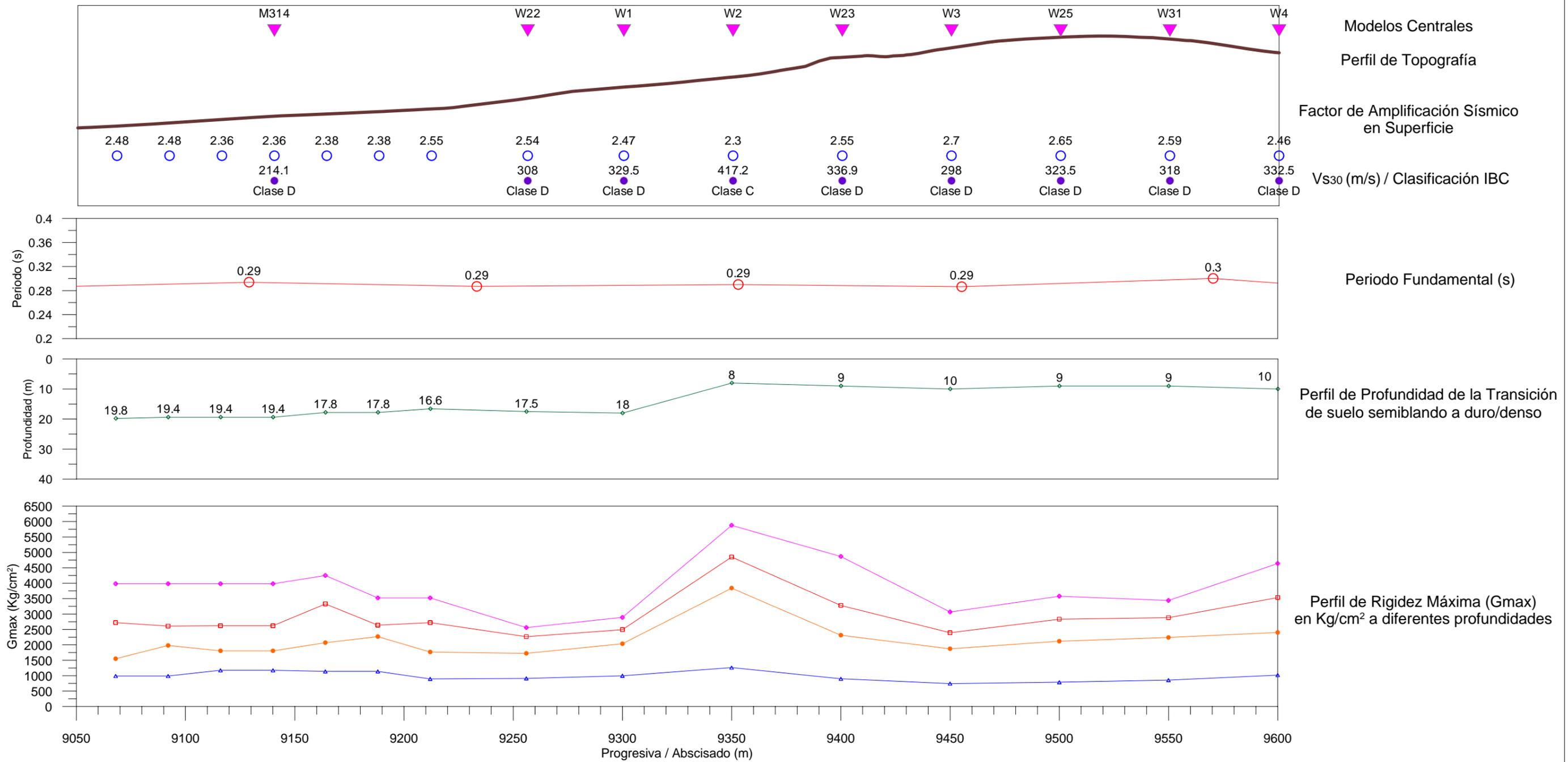
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 8+550 al 9+100 m

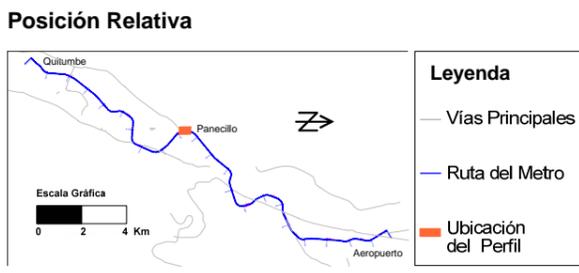


**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- ▲ Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- ◆ Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.



**Escala gráfica**

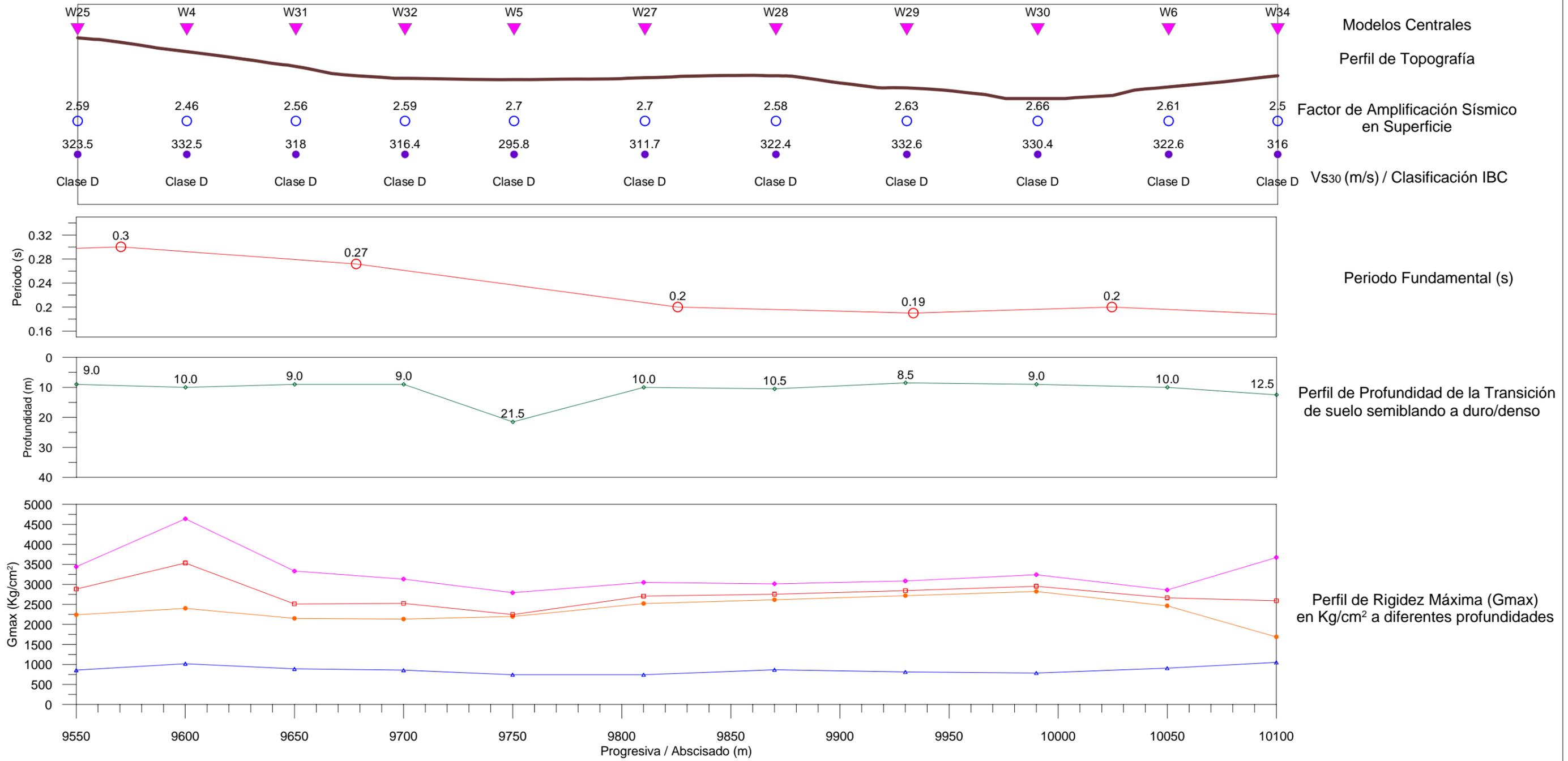
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 9+050 al 9+600 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Quitumbé, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

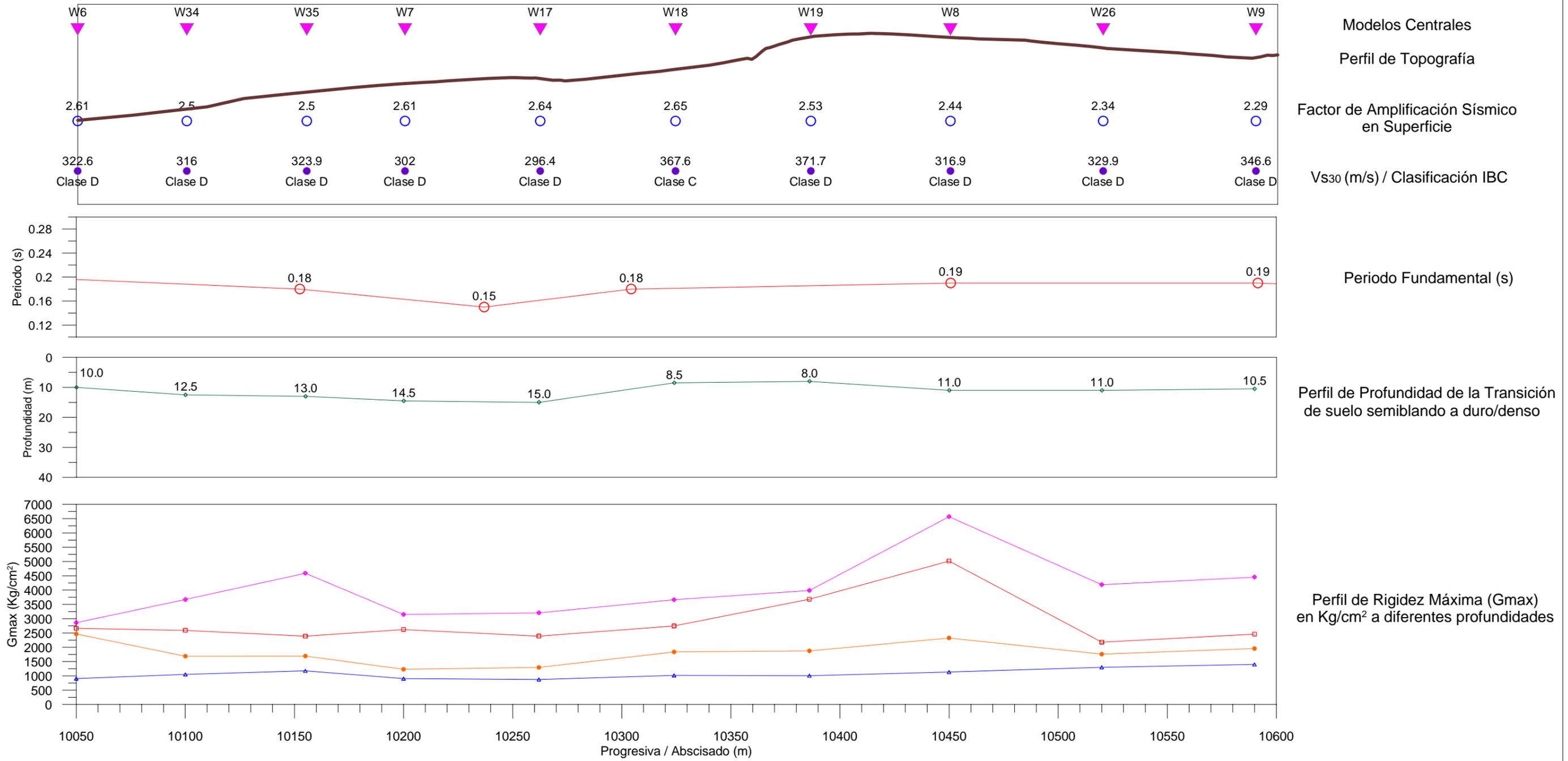
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 9+550 al 10+100 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- ▲— Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- ◆— Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

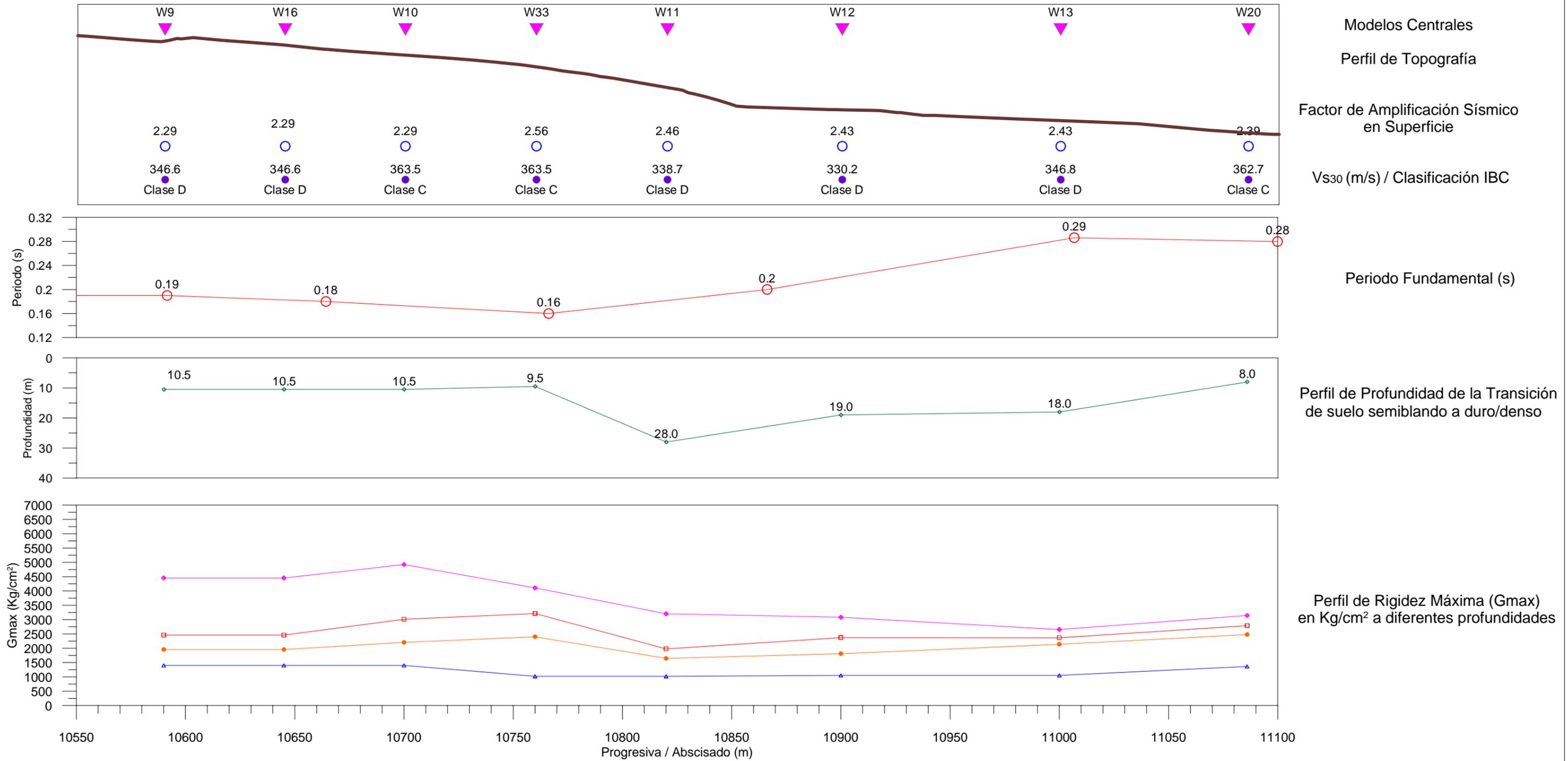
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 10+050 al 10+600 m



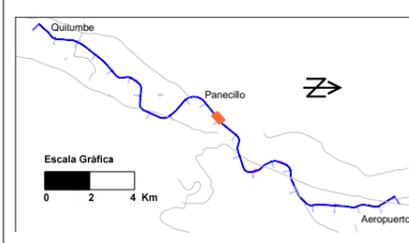
- Leyenda**
- Estaciones
  - Fa en superficie
  - Vs30/Clasificación IBC
  - Topografía
  - ▼ Modelos Centrales

- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- ▲— Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- ◆— Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

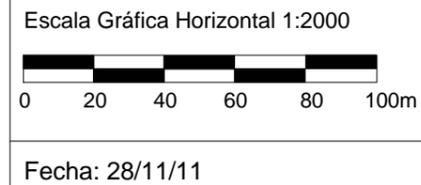
**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**



- Leyenda**
- Vías Principales
  - Ruta del Metro
  - Ubicación del Perfil

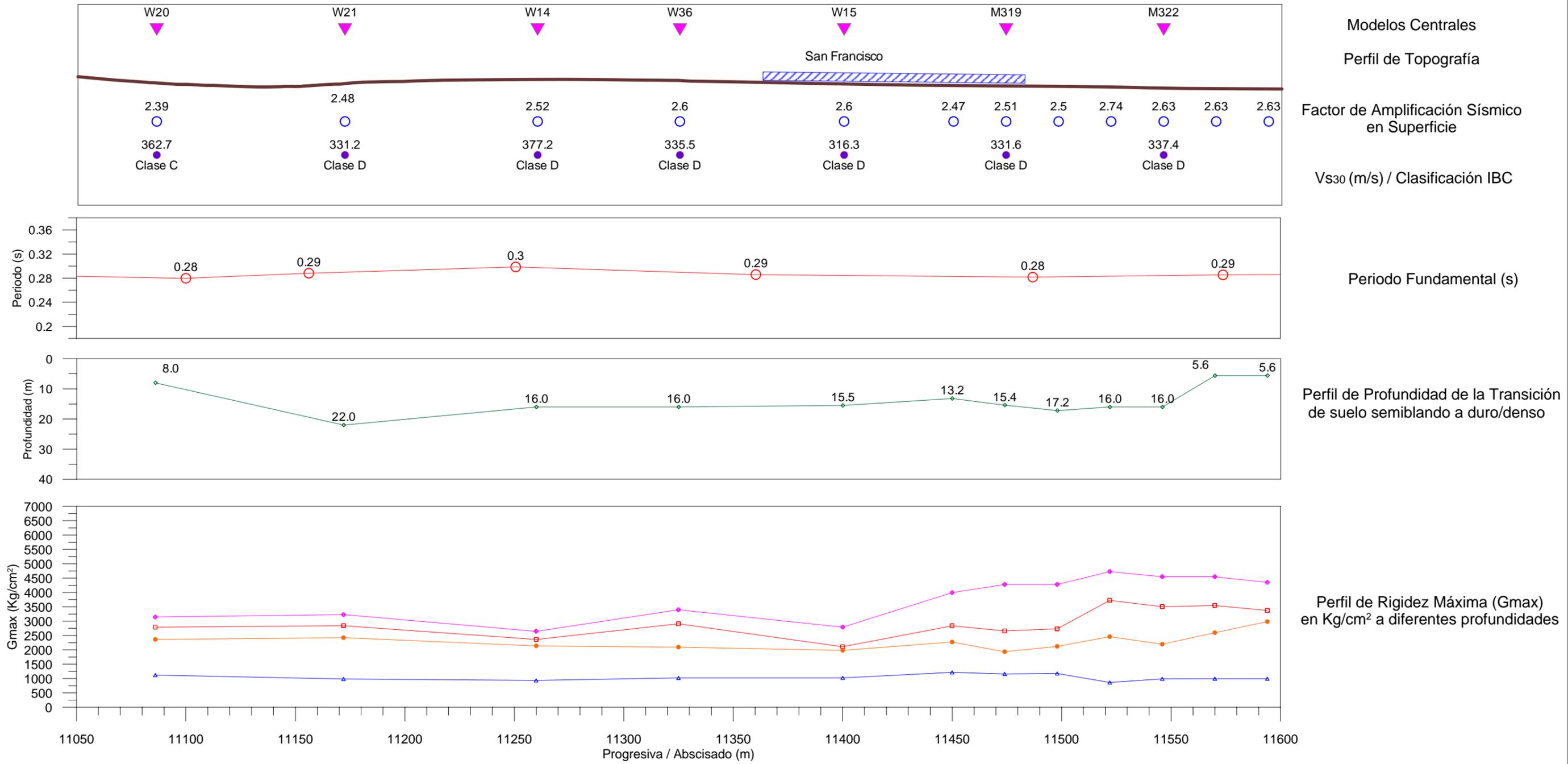
**Escala gráfica**



**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 10+550 al 11+100 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Qullumbi, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0, 2, 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

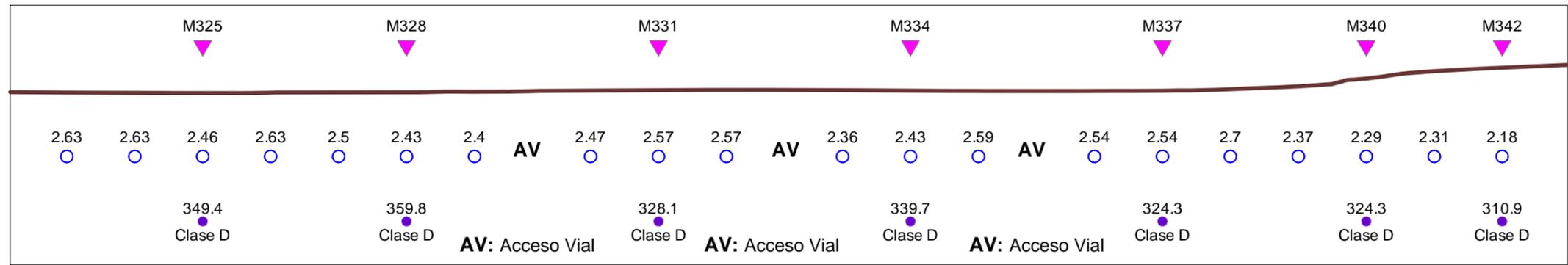
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 28/11/11

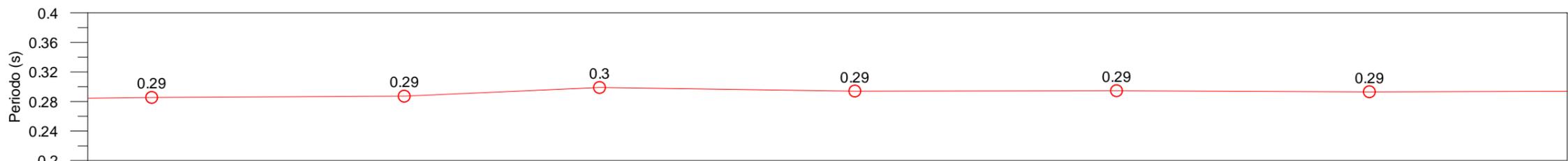
**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

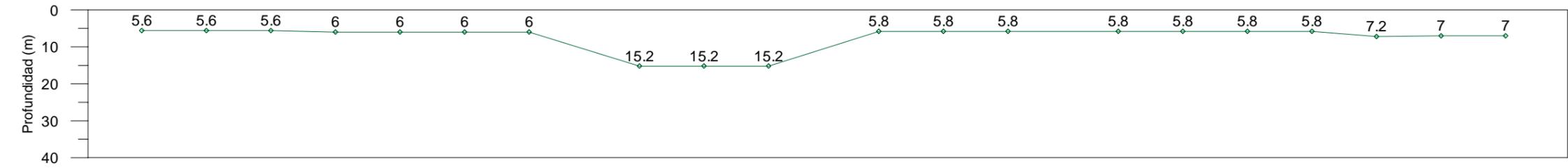
Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 11+050 al 11+600 m



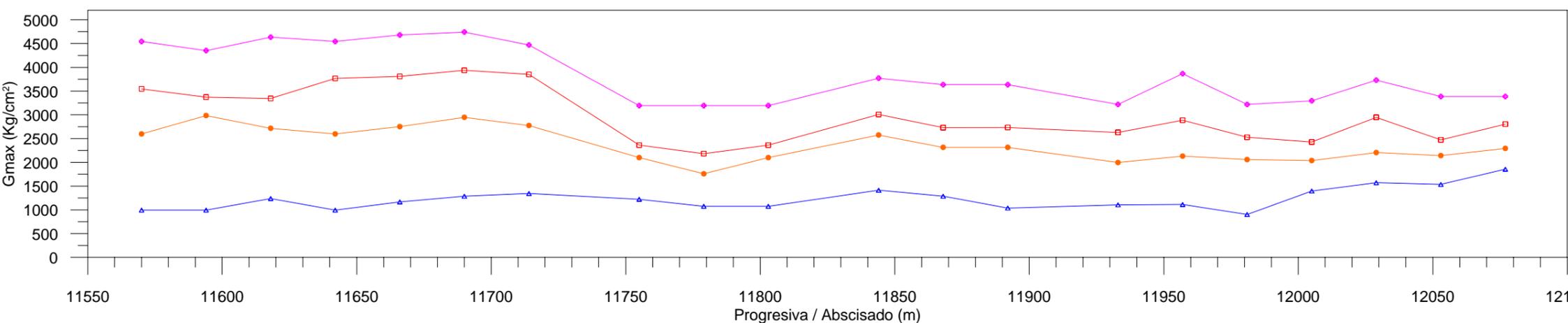
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

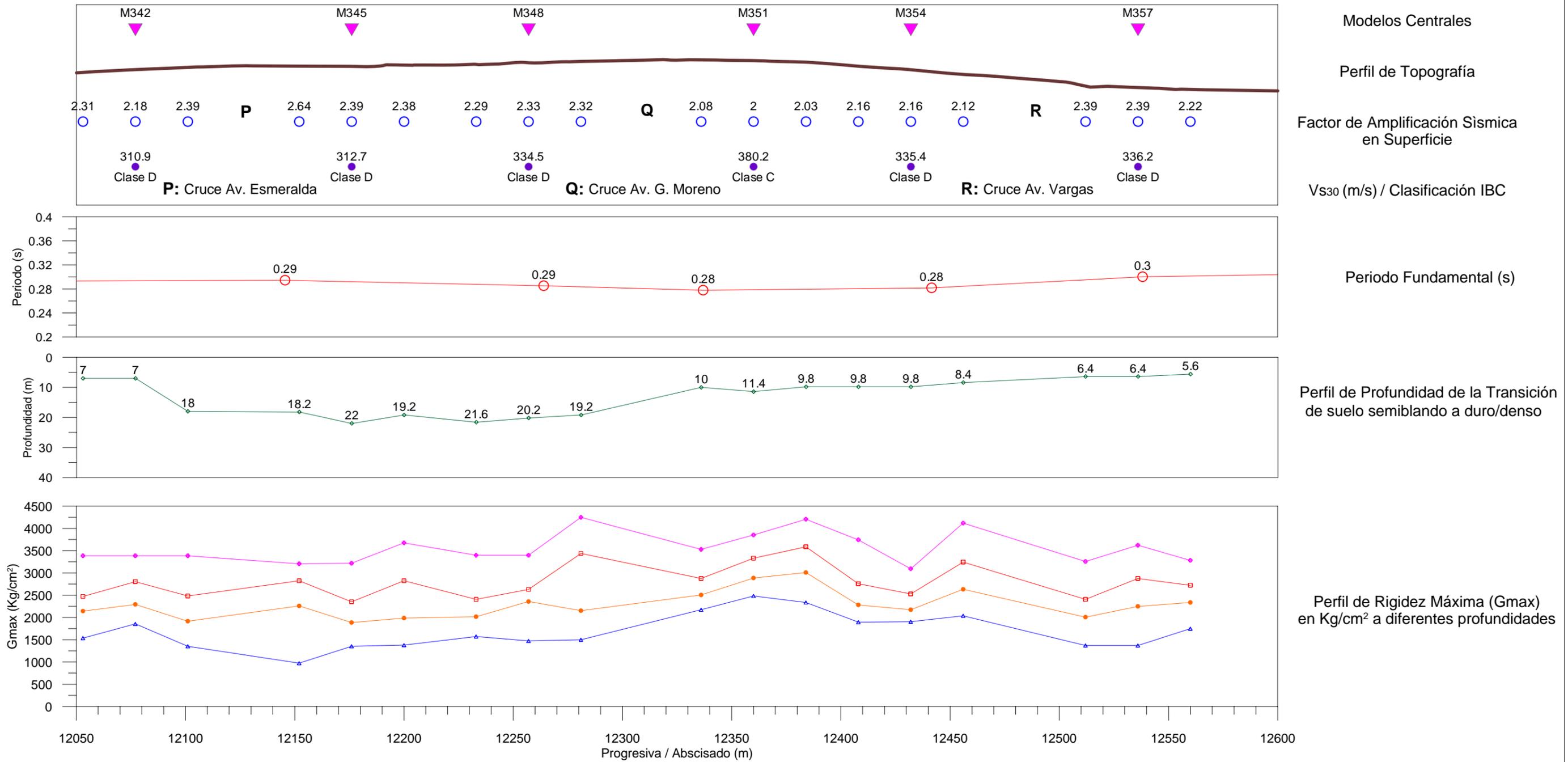
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 16/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 11+550 al 12+100 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

N° de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Quitumbe, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0, 2, 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

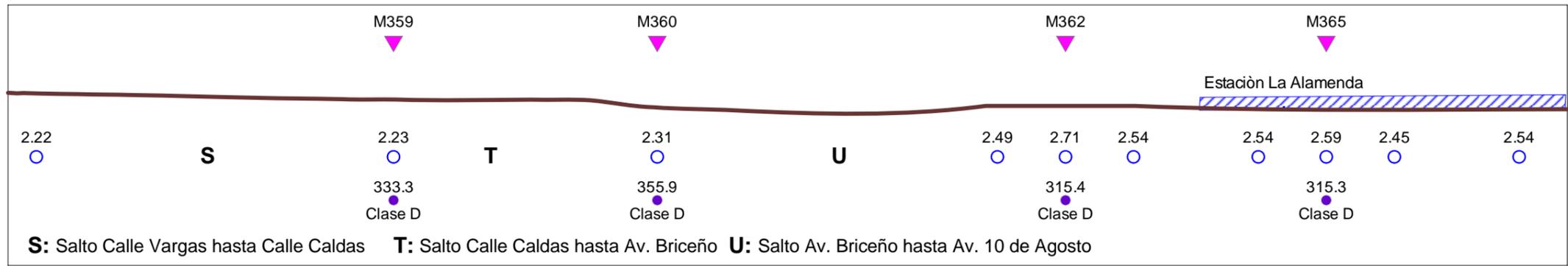
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 16/11/11

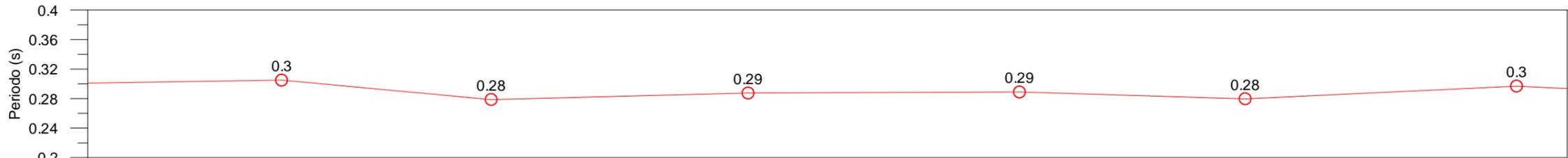
**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

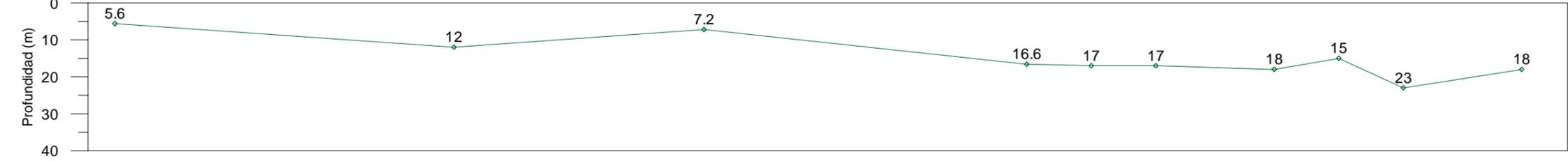
Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 12+050 al 12+600 m



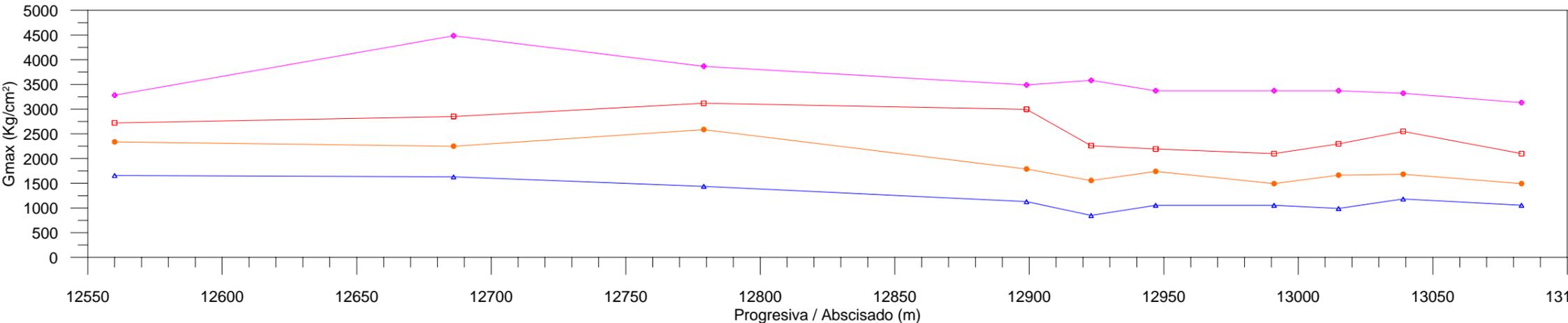
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



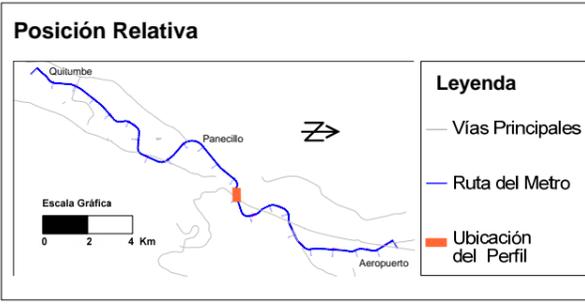
Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

■ Estaciones	○ Periodo fundamental (s)
○ Fa en superficie	◆ Transición suelo semiblando/duro
● Vs30/Clasificación IBC	▲ Rigidez máxima (Gmax) a 10m
— Topografía	● Rigidez máxima (Gmax) a 20m
▼ Modelos Centrales	□ Rigidez máxima (Gmax) a 30m
	◆ Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.



**Escala gráfica**

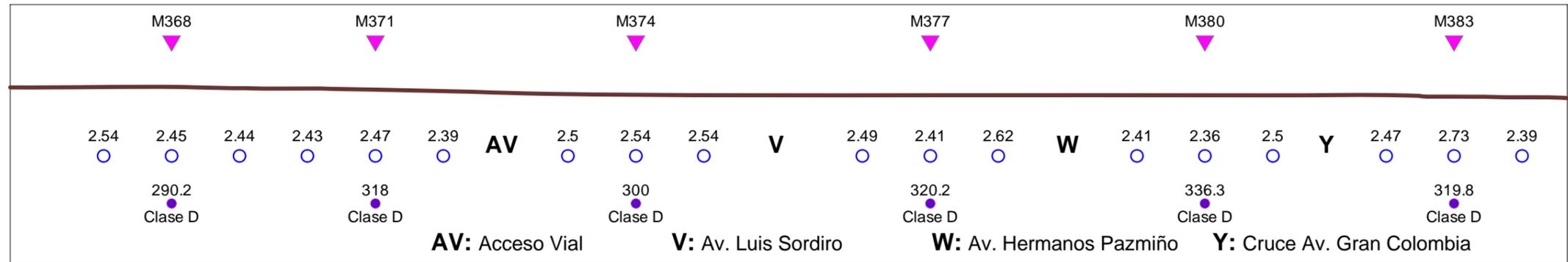
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 16/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 12+550 al 13+100 m

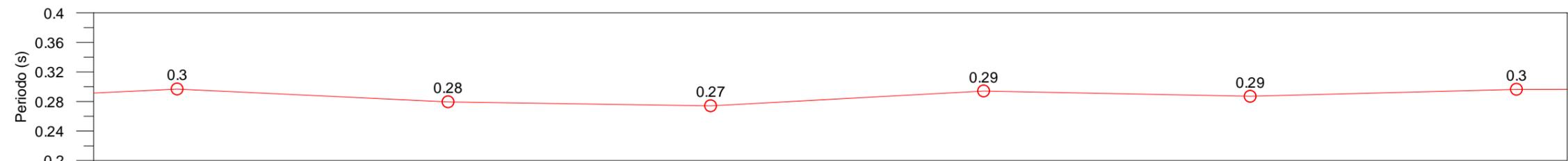


Modelos Centrales

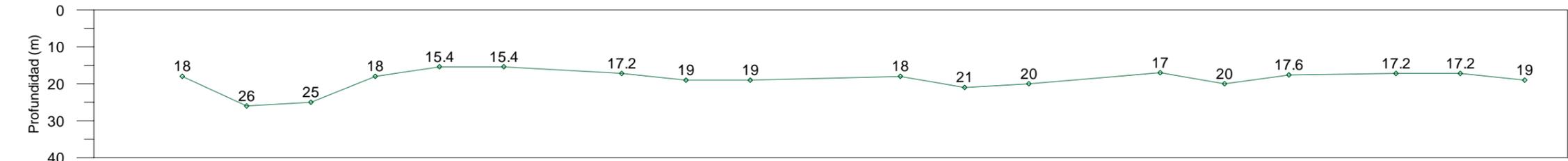
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

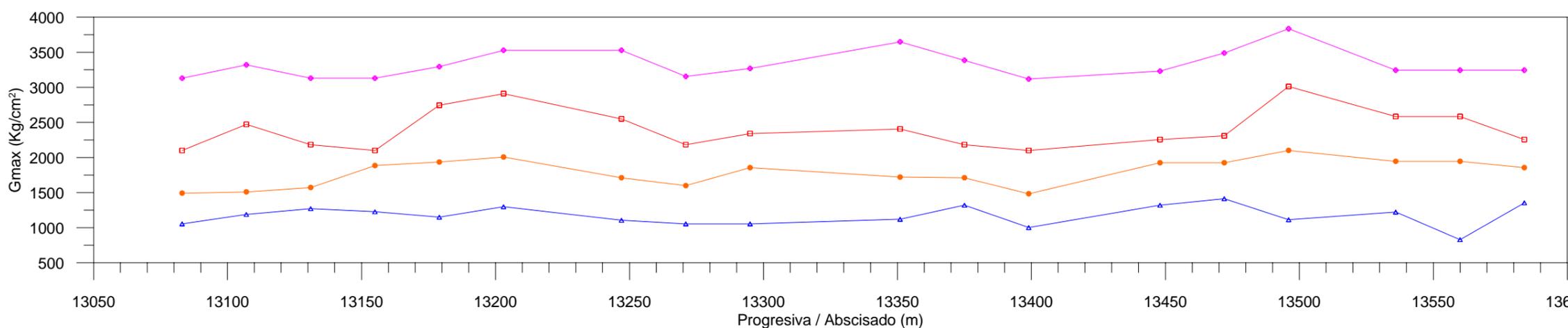
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

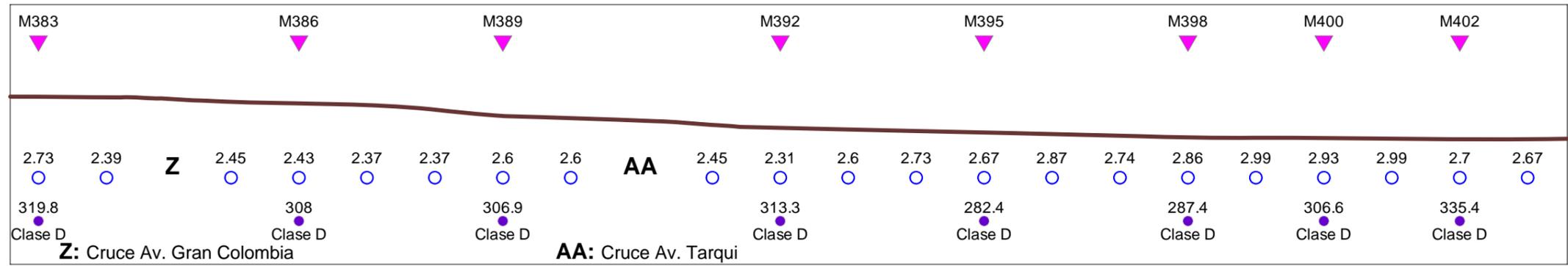
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 16/11/11

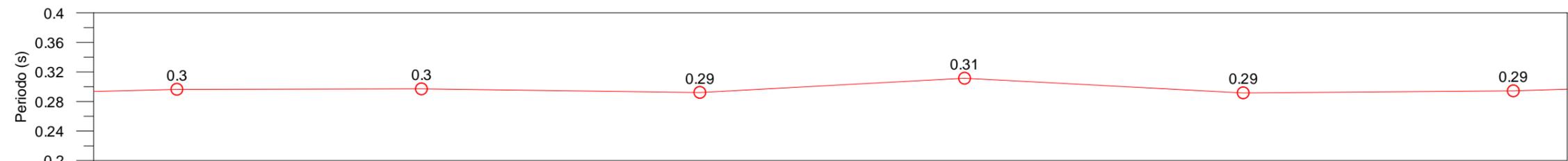
**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

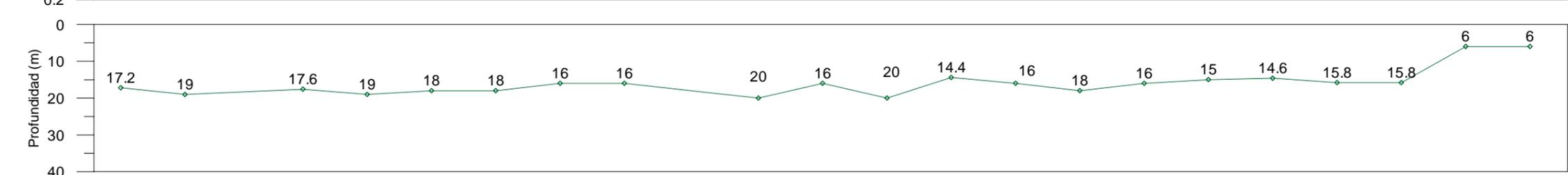
Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 13+050 al 13+600 m



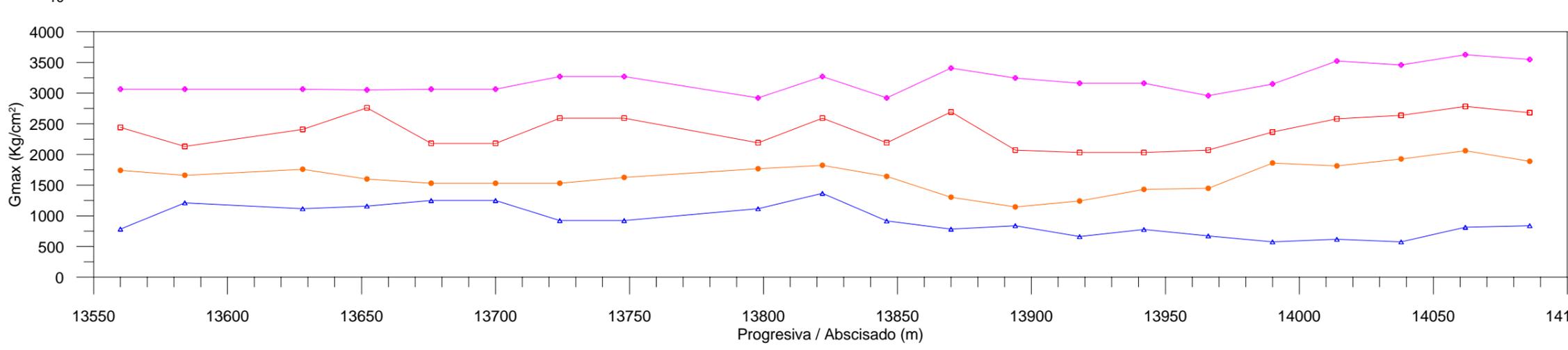
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

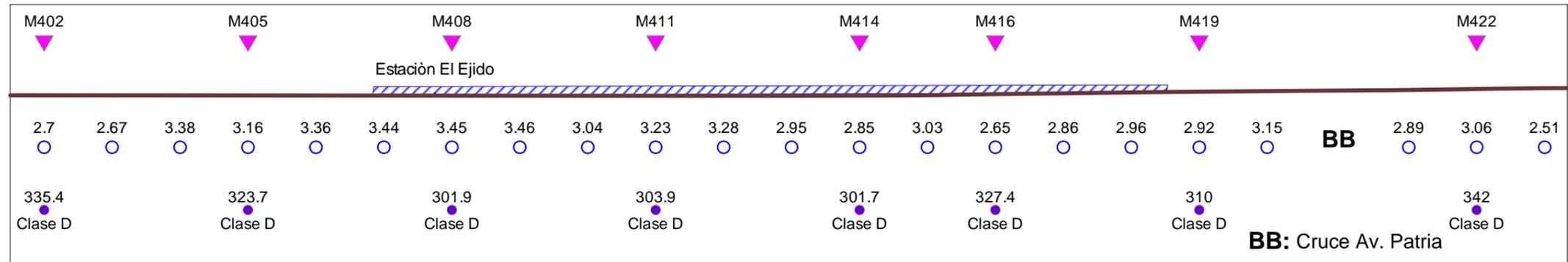
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 16/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 13+550 al 14+100 m

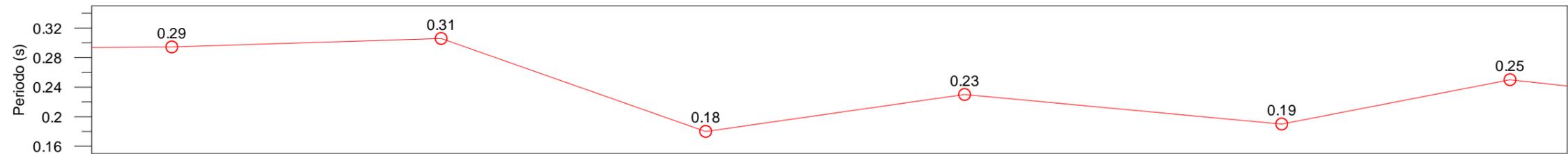


Modelos Centrales

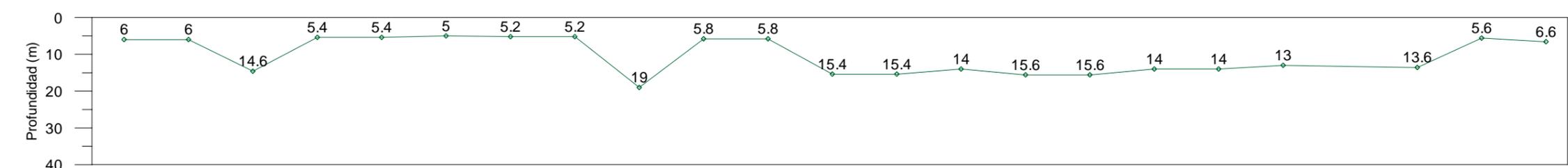
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

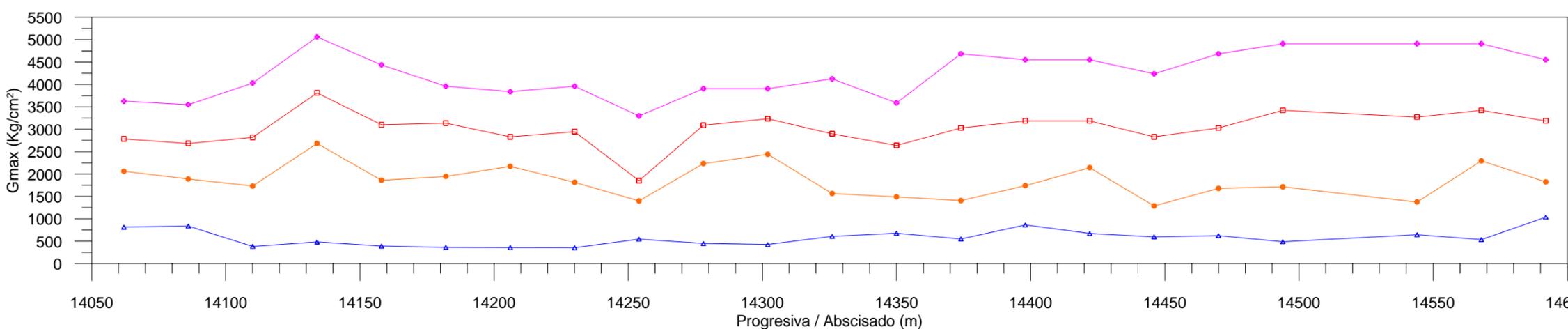
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

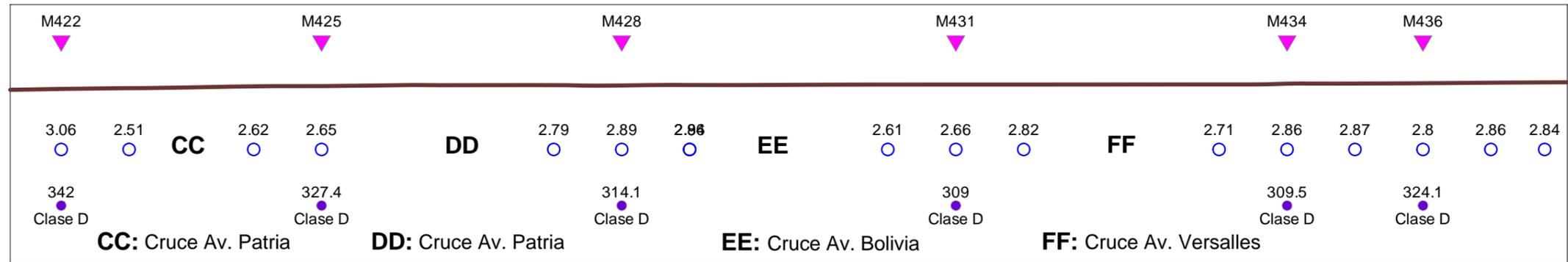
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 16/11/11

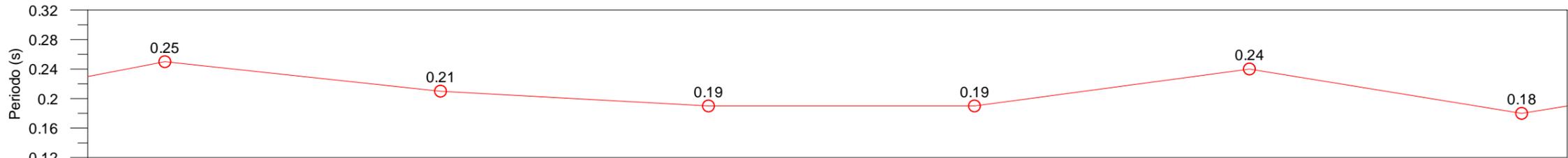
**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

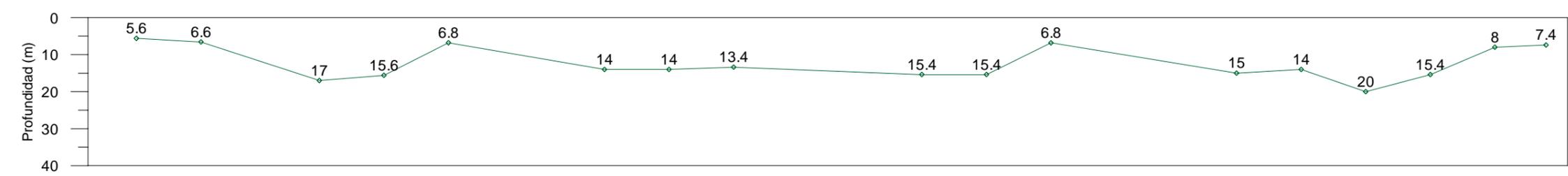
Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 14+050 al 14+600 m



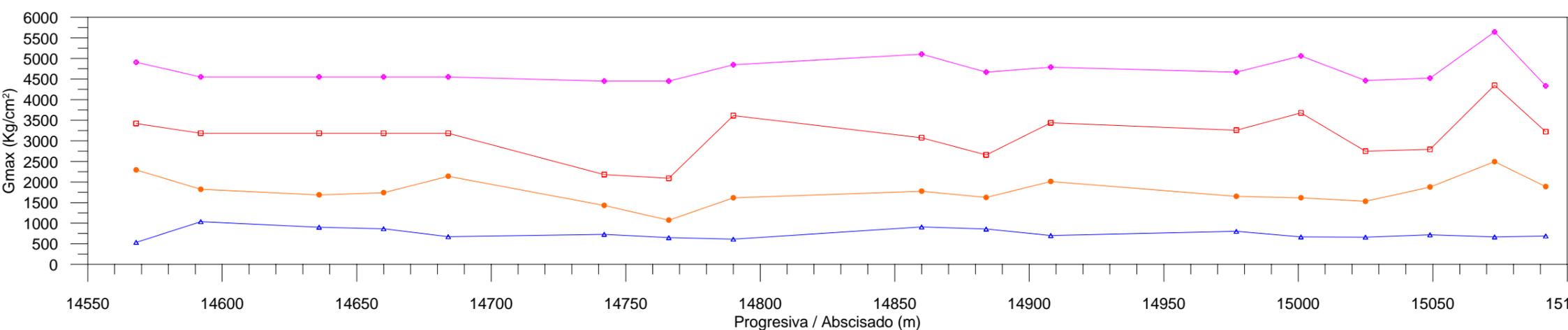
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

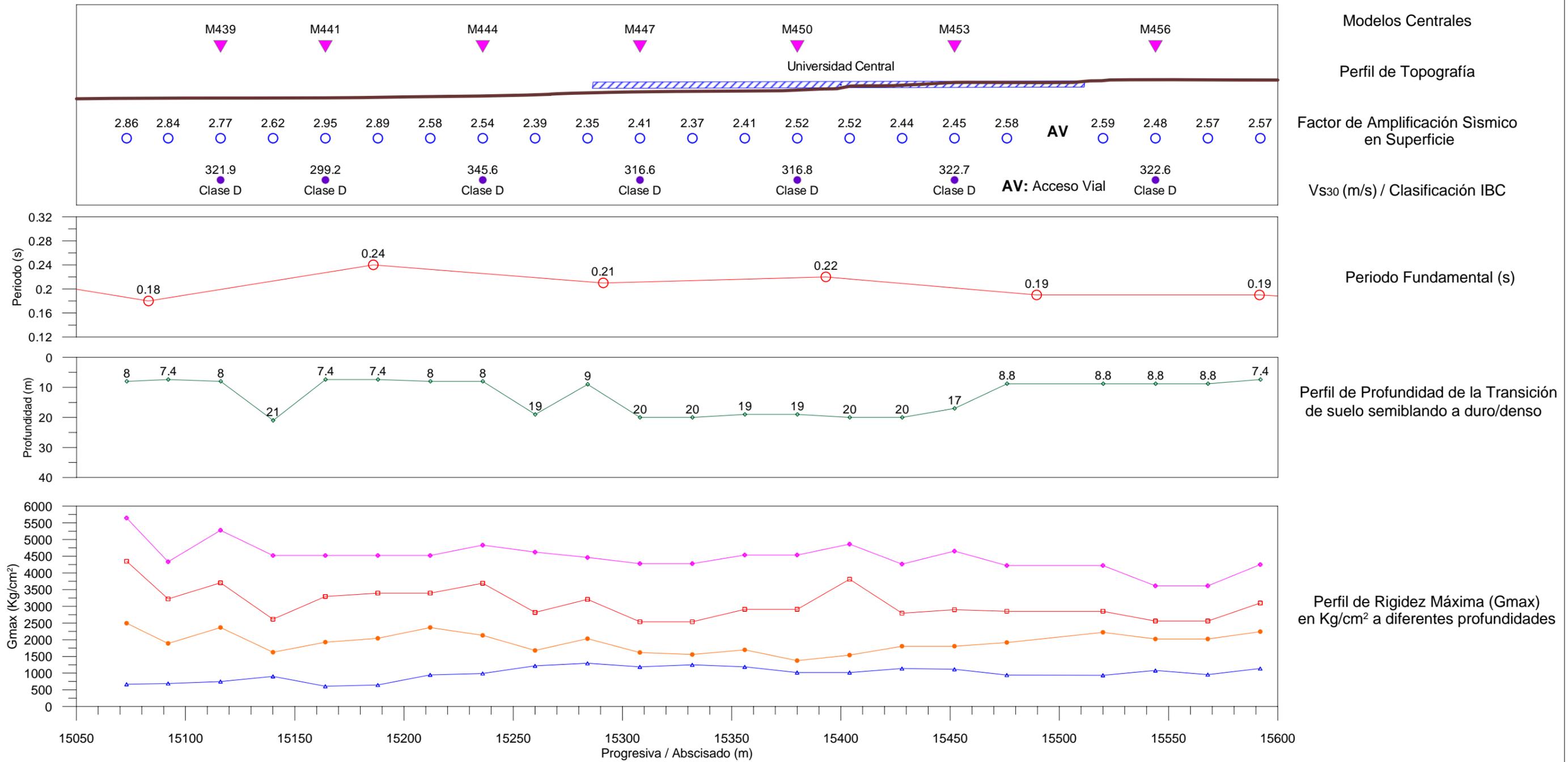
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 16/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 14+550 al 15+100 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

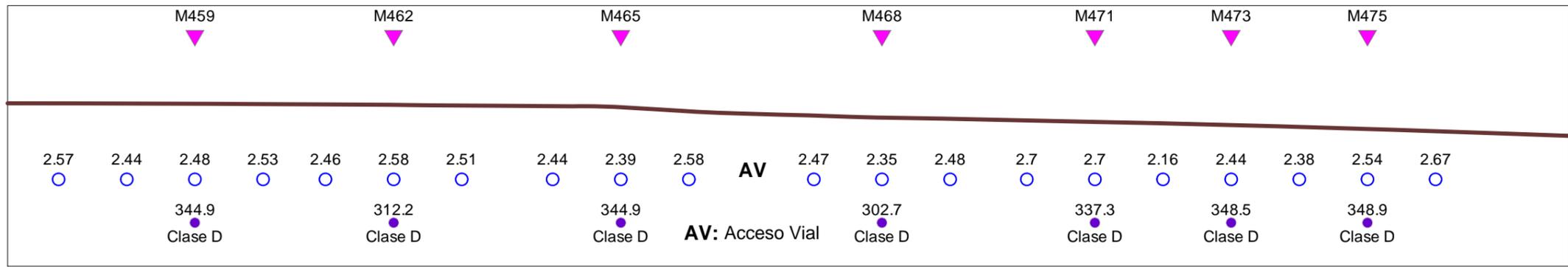
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 16/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 15+050 al 15+600 m

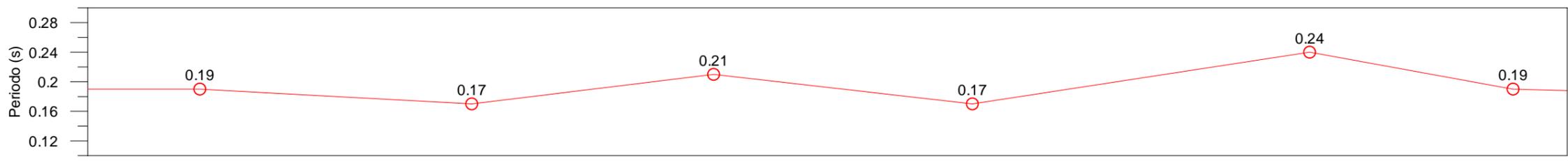


Modelos Centrales

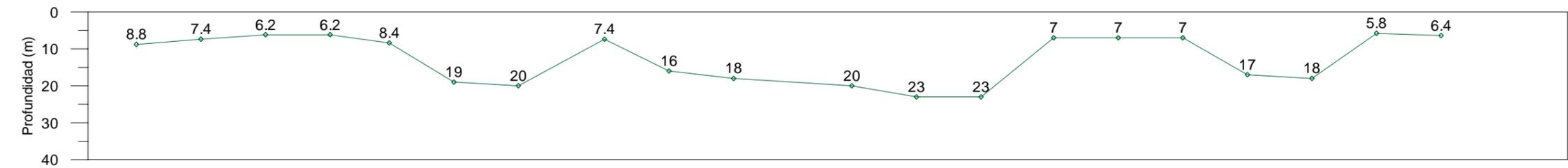
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

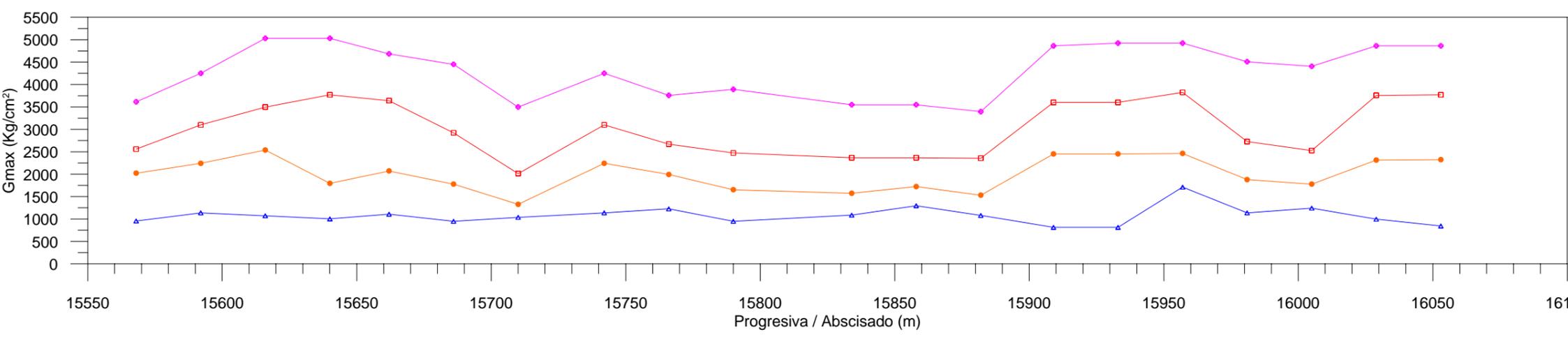
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

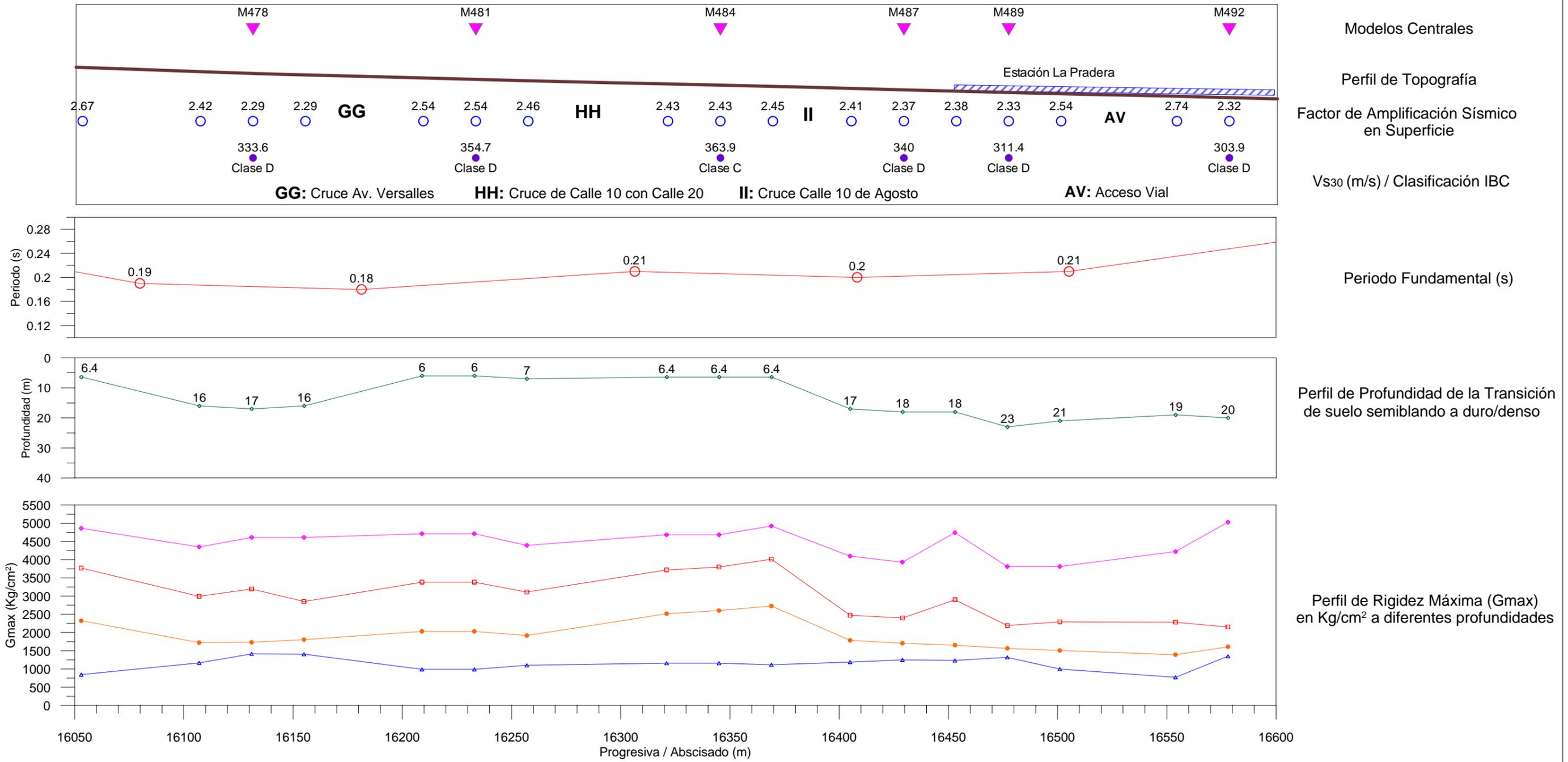
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 15+550 al 16+100 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Quitumbe, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

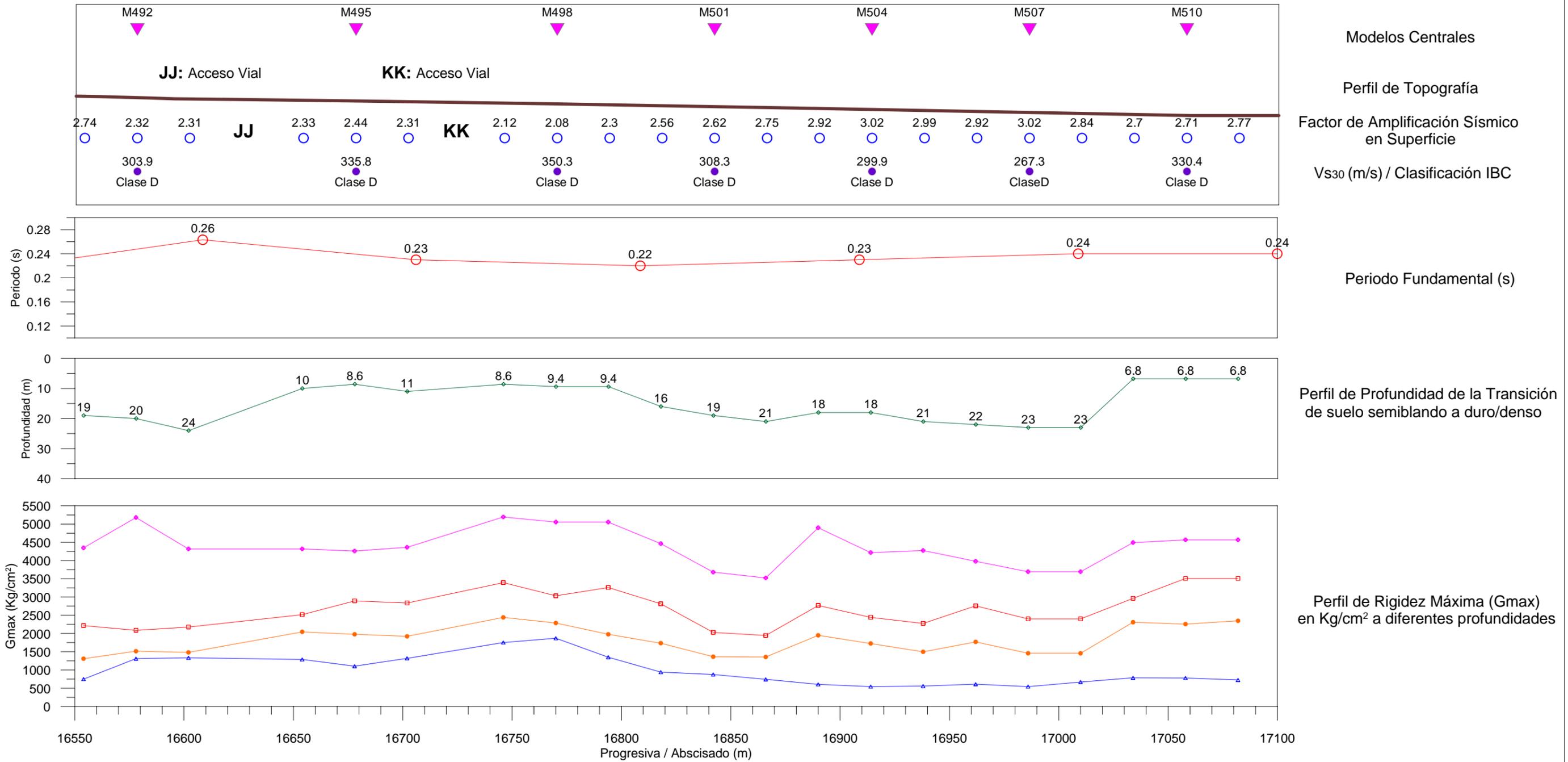
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 29/11/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 16+050 al 16+600 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismografos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.



**Escala gráfica**

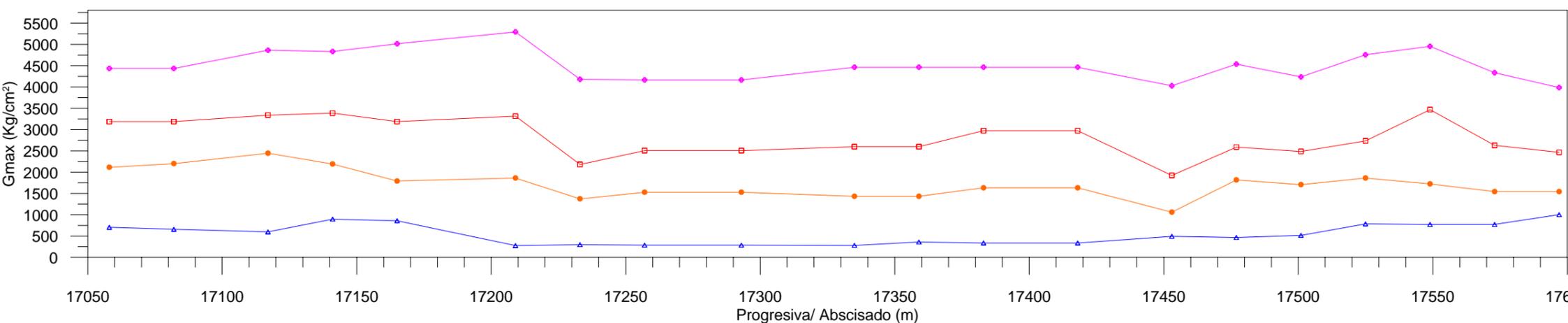
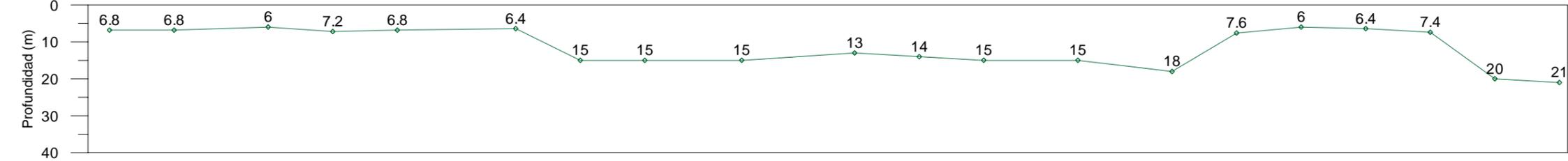
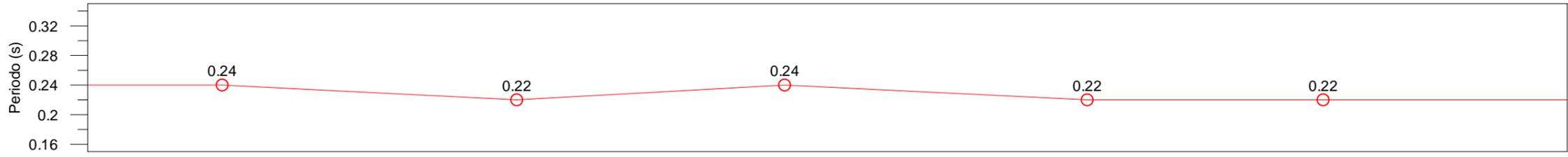
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 29/11/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 16+550 al 17+100 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Qulumbé, Panecillo, Aeropuerto

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0, 2, 4 Km

**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

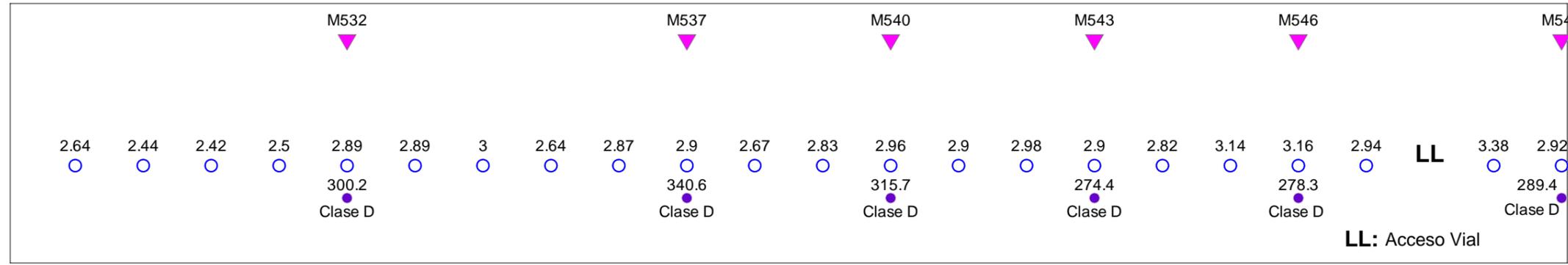
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 28/11/11

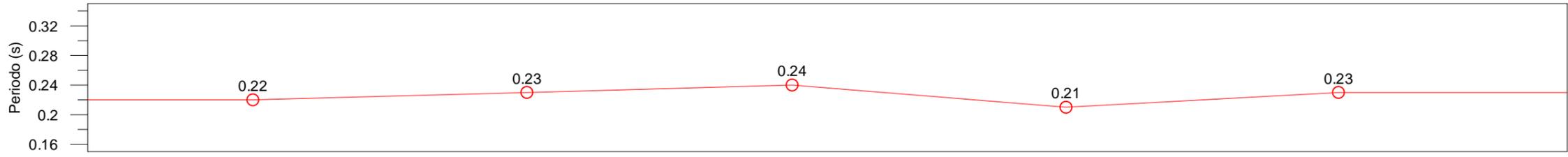
**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

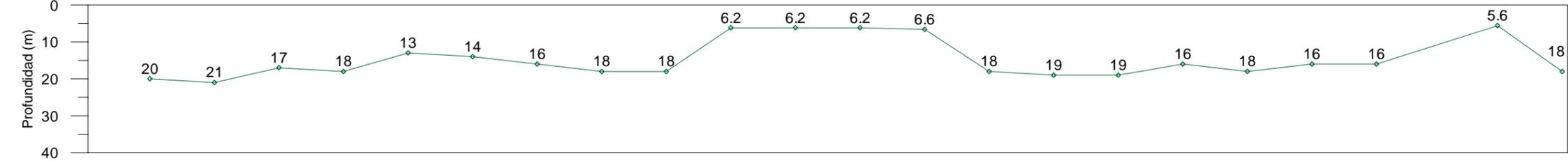
Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 17+050 al 17+600 m



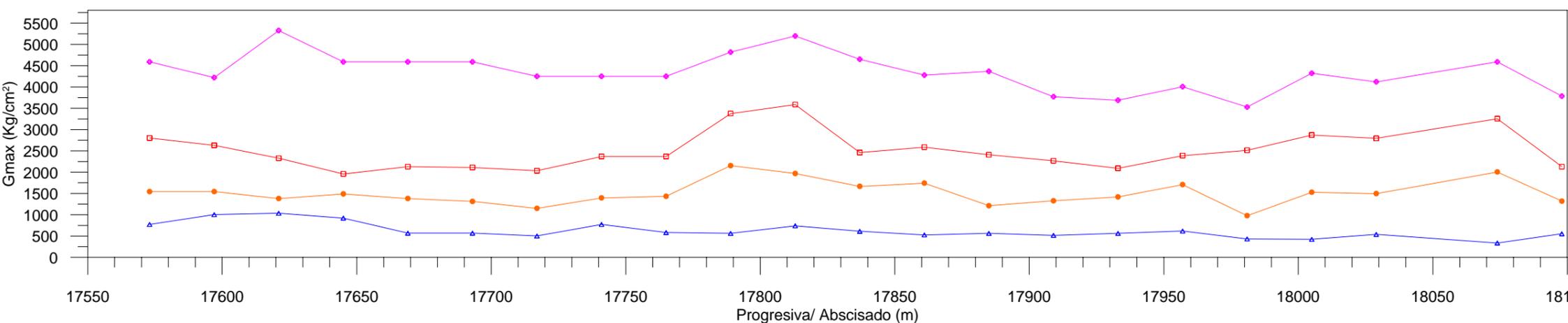
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

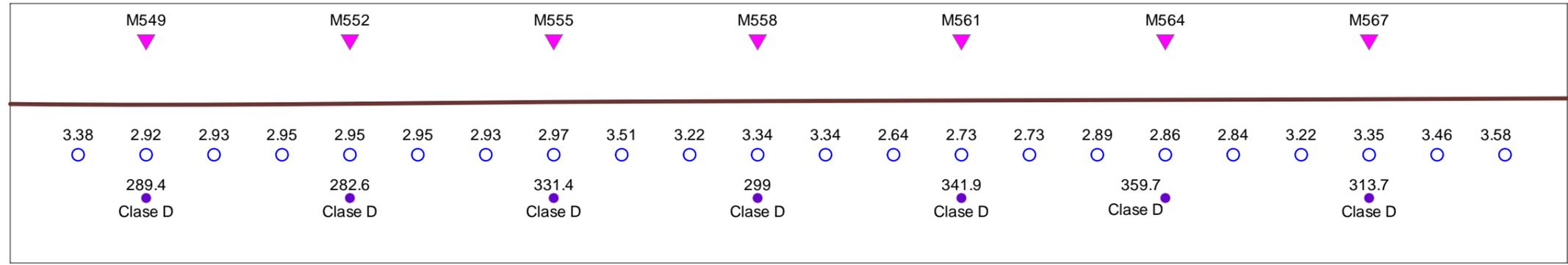
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 28/11/11

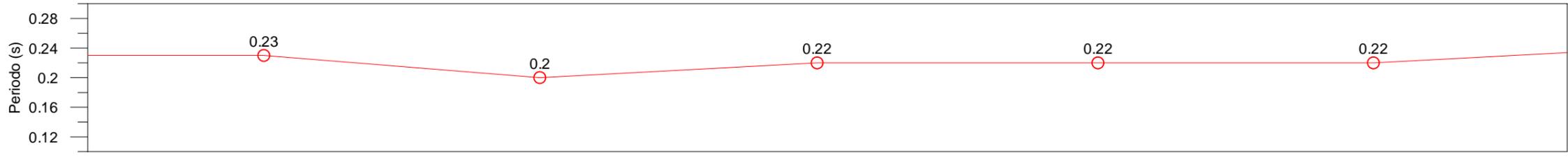
**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

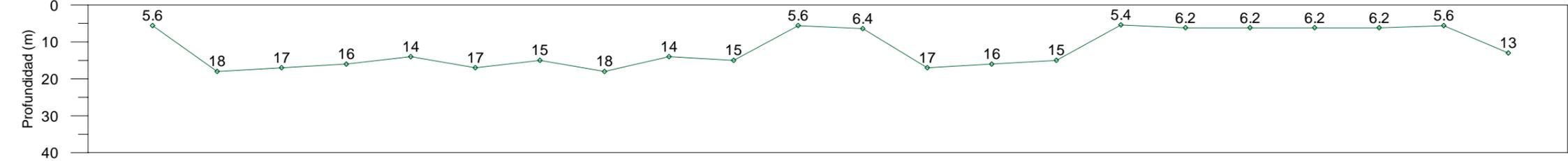
Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 17+550 al 18+100 m



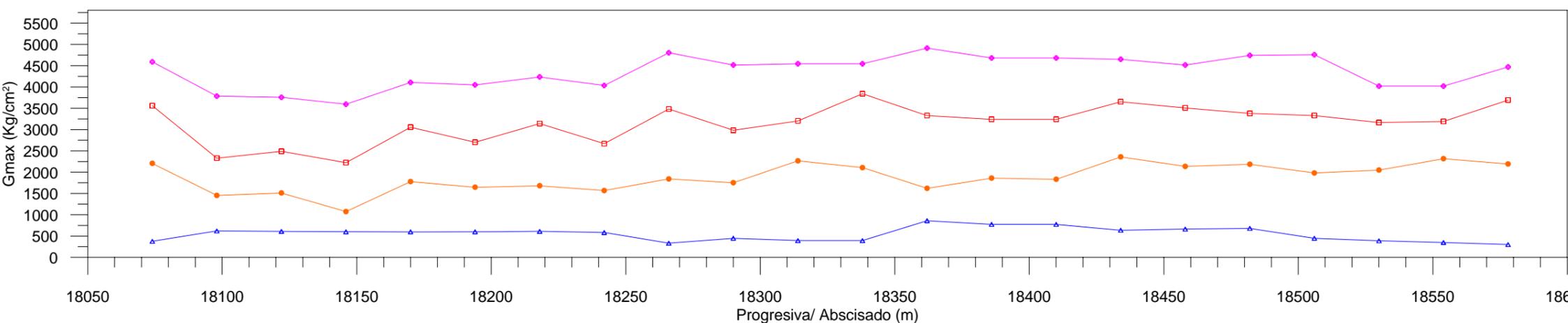
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

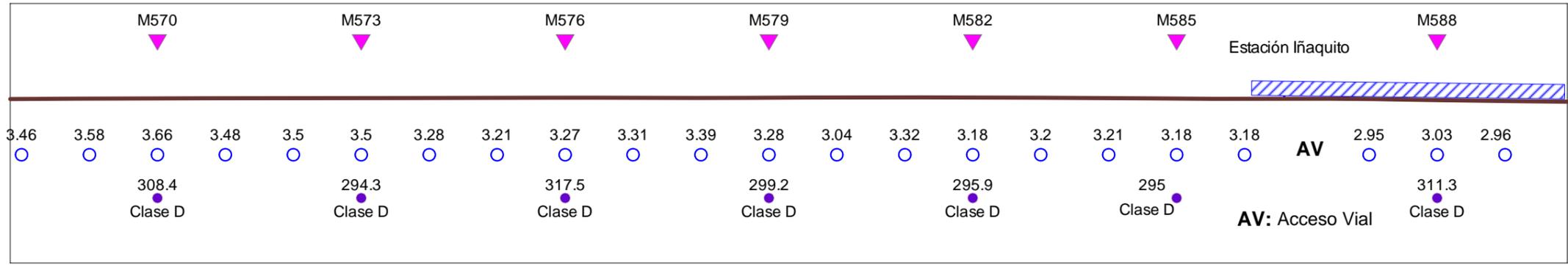
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 07/12/11

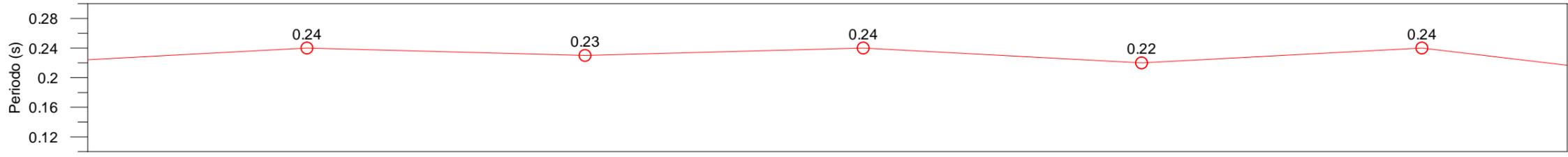
**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

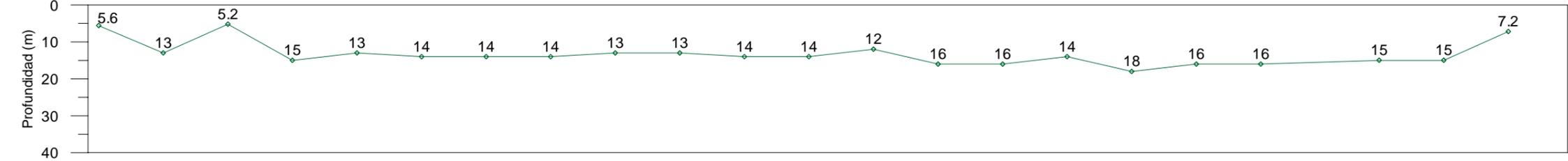
Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 18+050 al 18+600 m



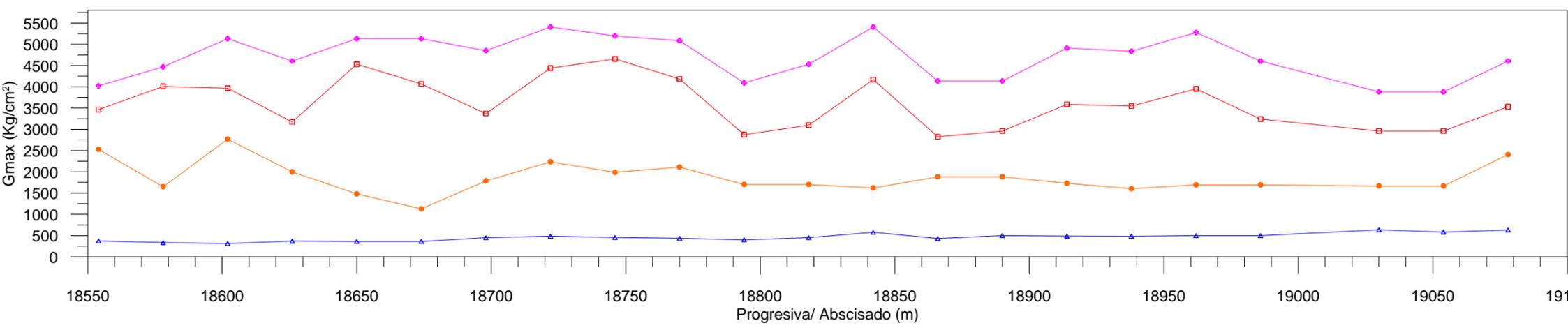
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- ▼ Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- ◆ Transición suelo semiblando/duro
- ▲ Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- ◻ Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- ◆ Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

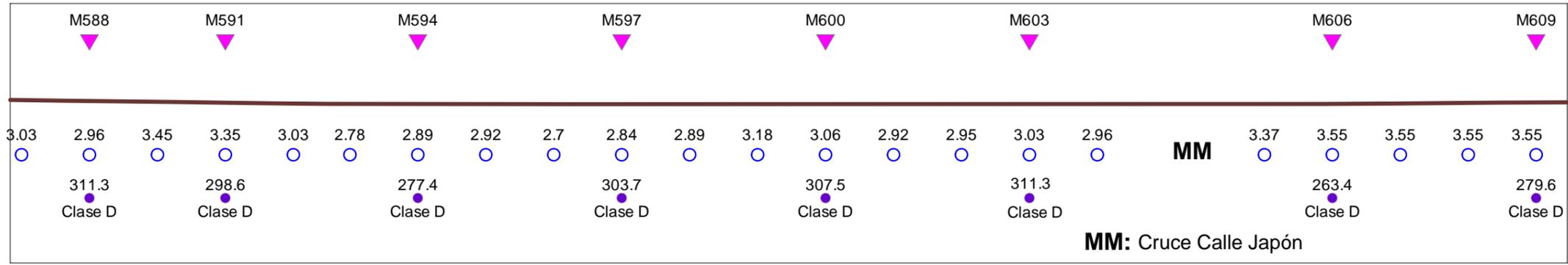
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 07/12/11

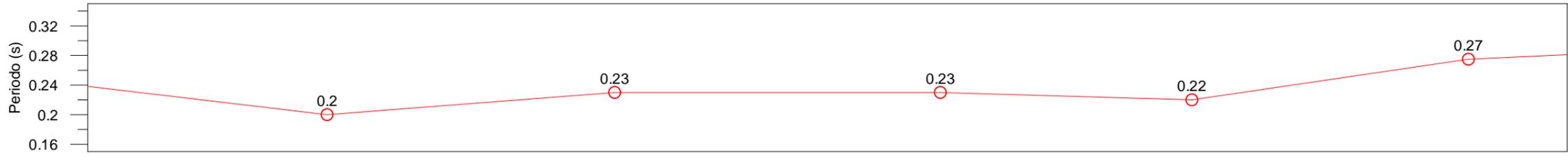
**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

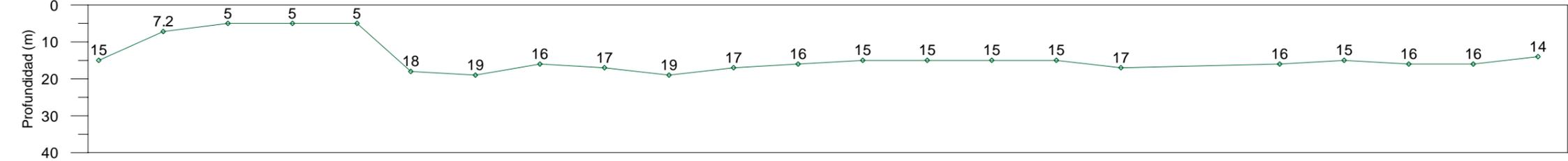
Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 18+550 al 19+100 m



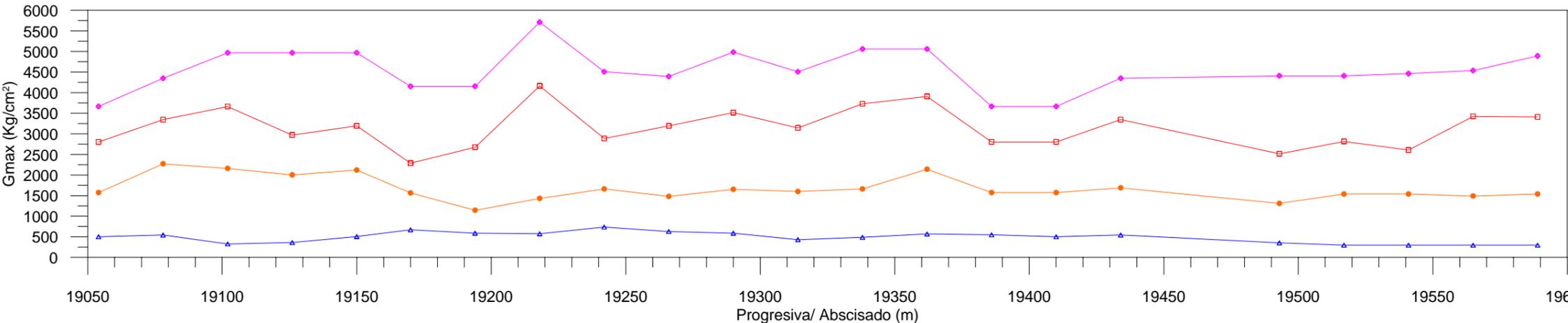
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

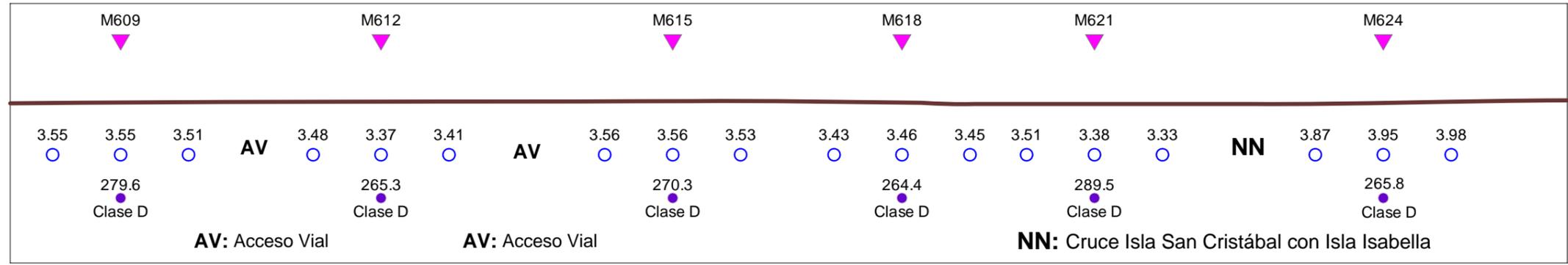
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 07/12/11

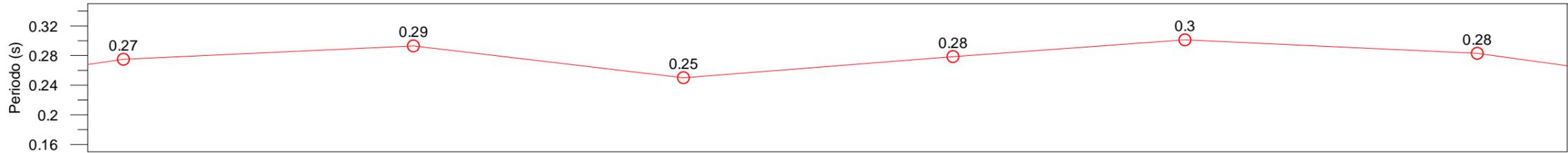
**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

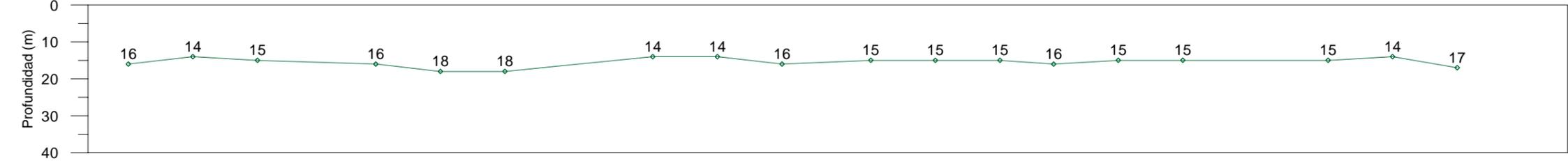
Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 19+050 al 19+600 m



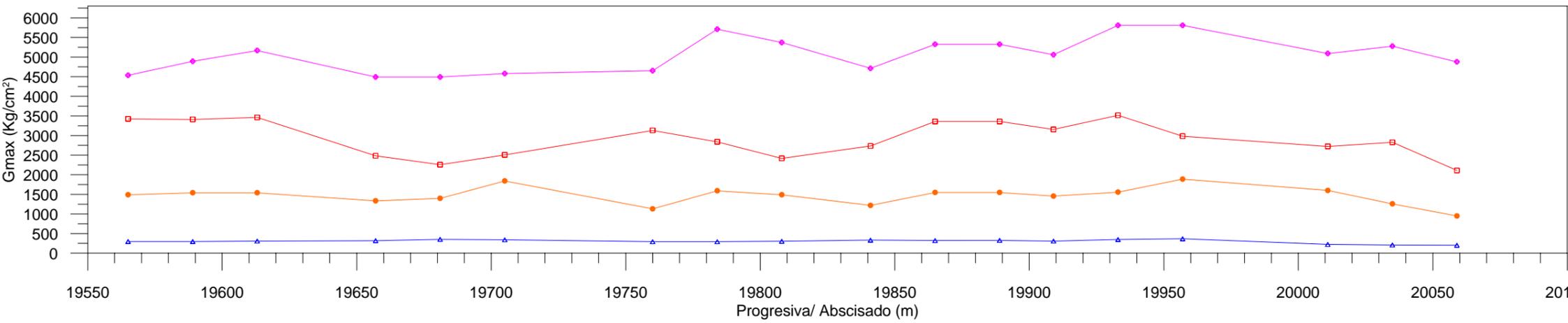
Modelos Centrales  
 Perfil de Topografía  
 Factor de Amplificación Sísmico en Superficie  
 Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

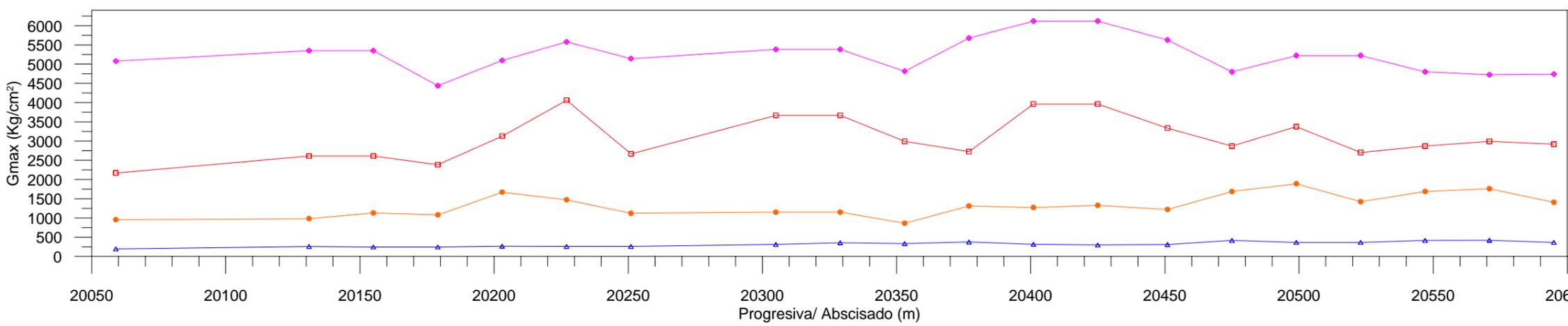
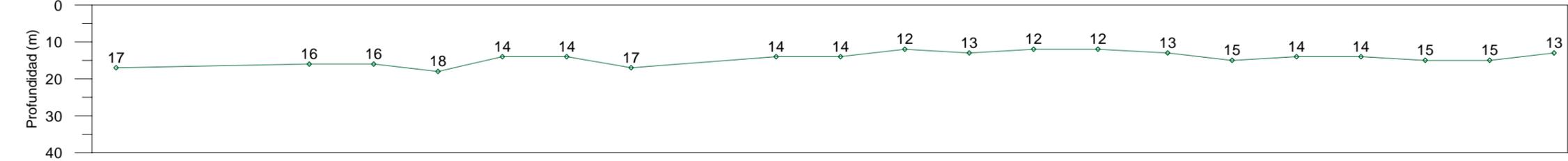
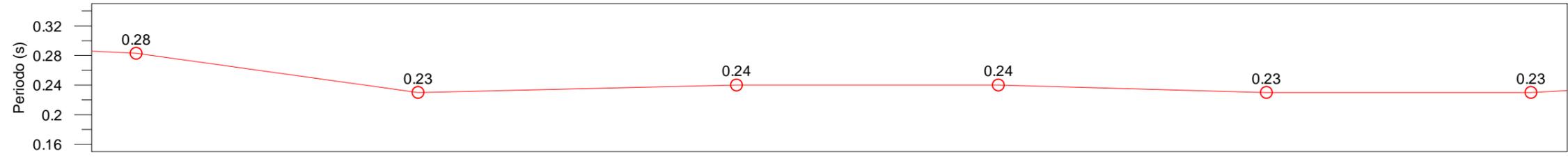
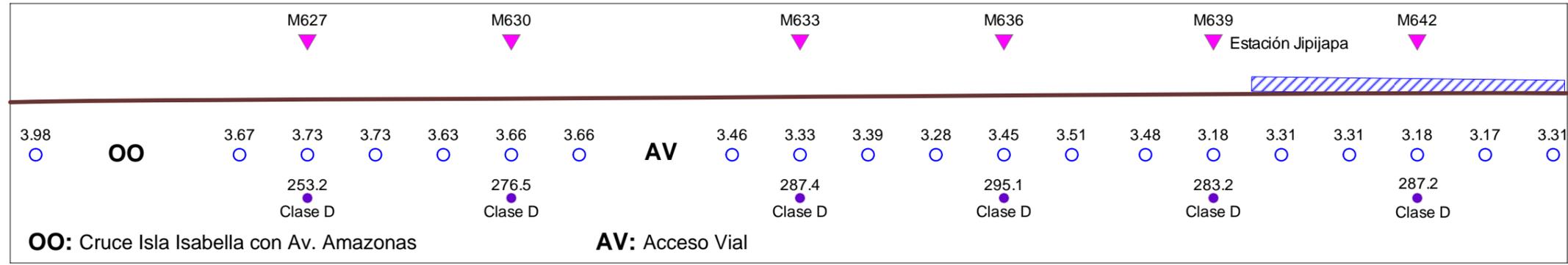
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 07/12/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 19+550 al 20+100 m



**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Escala gráfica**

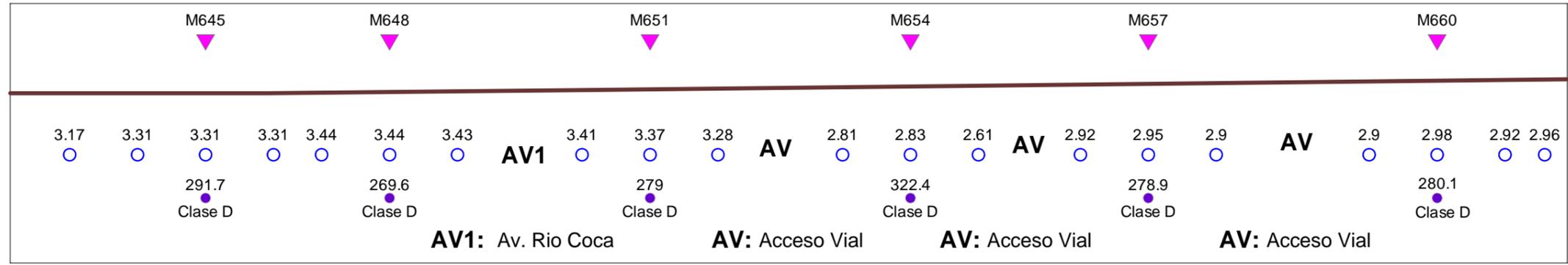
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 07/12/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 20+050 al 20+600 m

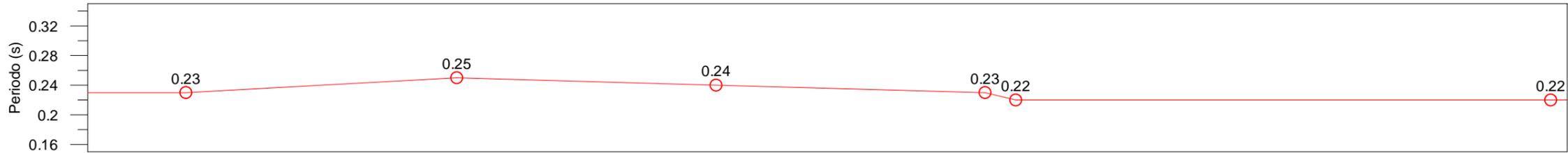


Modelos Centrales

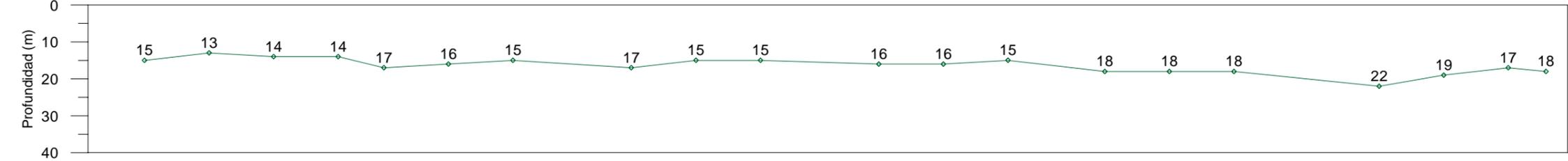
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

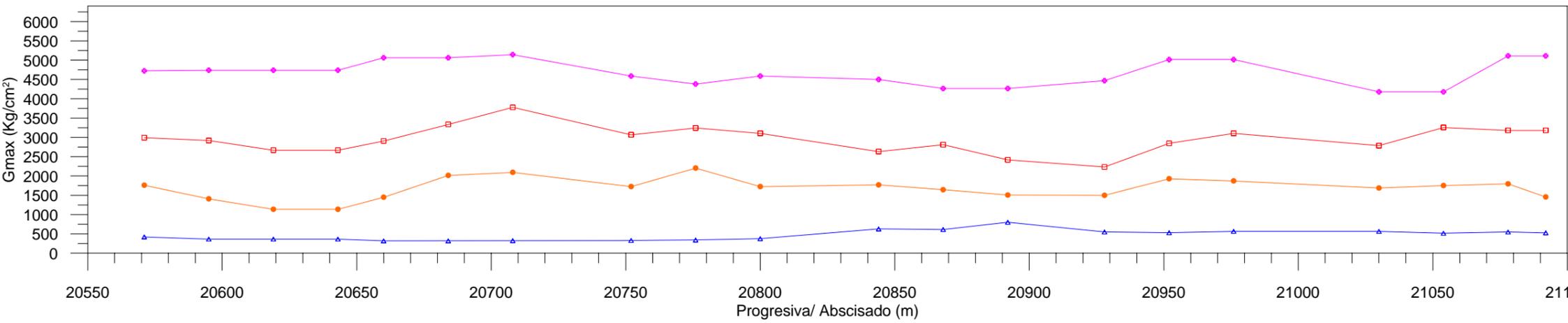
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



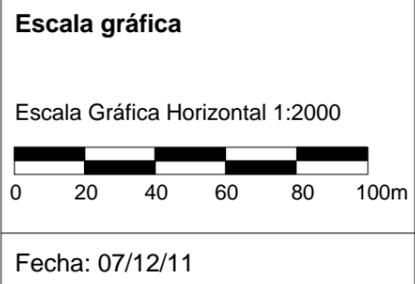
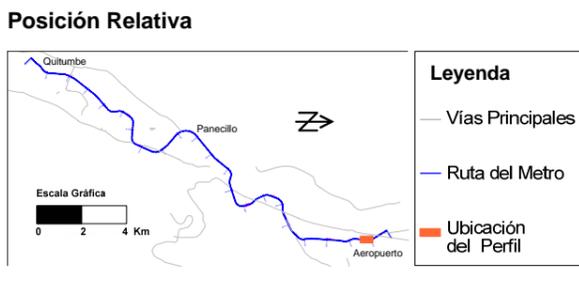
Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

- Leyenda**
- Estaciones
  - Fa en superficie
  - Vs30/Clasificación IBC
  - Topografía
  - Modelos Centrales

- Período fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismógrafos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

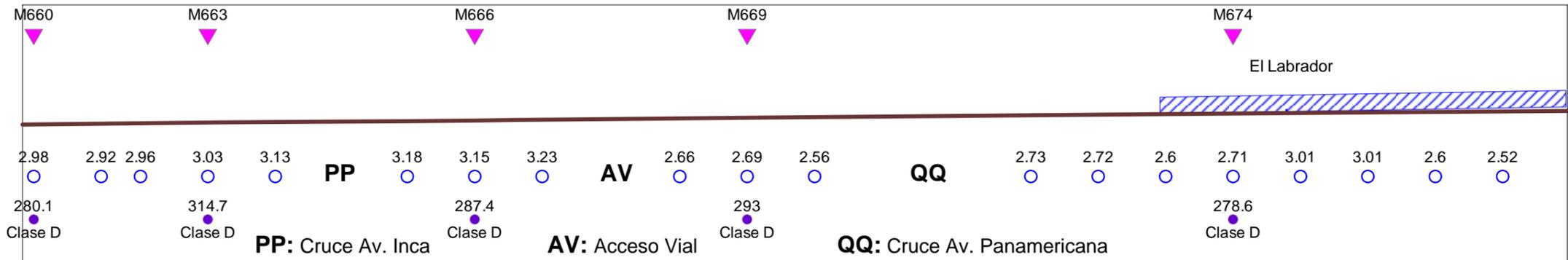
**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.



**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 20+550 al 21+100 m

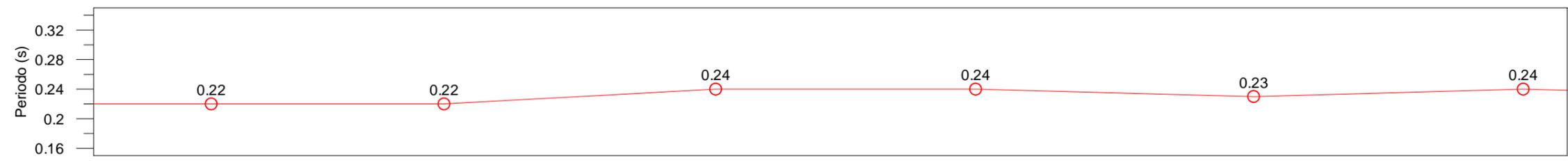


Modelos Centrales

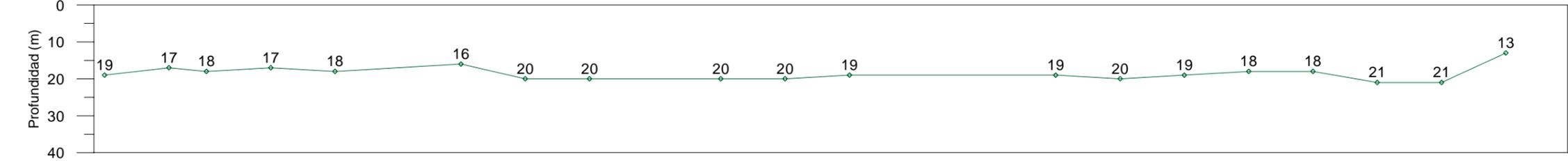
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

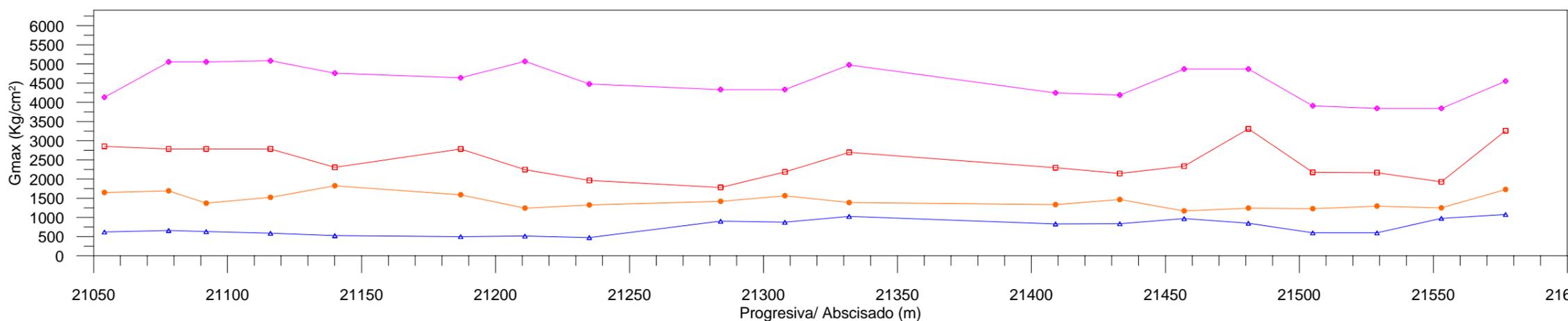
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Período Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

Estaciones	Período fundamental (s)
Fa en superficie	Transición suelo semiblando/duro
Vs30/Clasificación IBC	Rigidez máxima (Gmax) a 10m
Topografía	Rigidez máxima (Gmax) a 20m
Modelos Centrales	Rigidez máxima (Gmax) a 30m
	Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III

Iseis Sigma

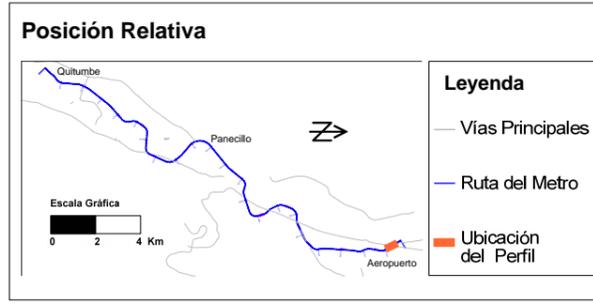
Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24

Separación entre geofono: 4m

Nº de registros: 20x30 segundos.



**Escala gráfica**

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

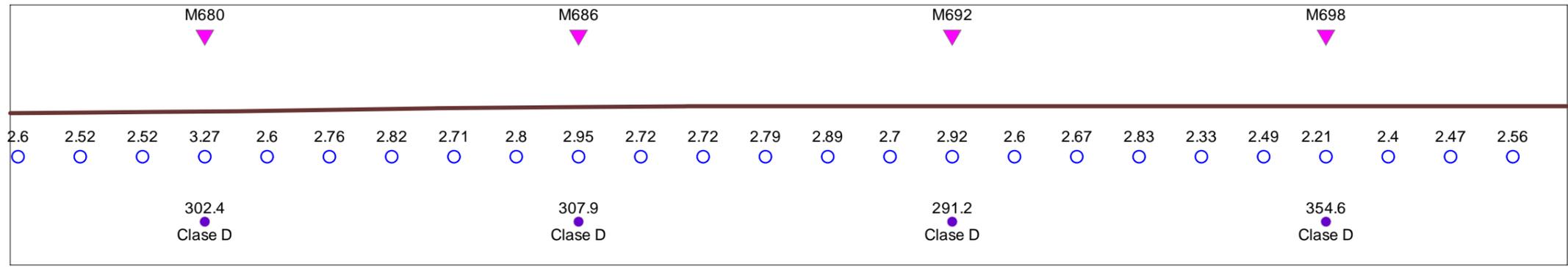
Fecha: 07/12/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ

Perfiles  
Progresiva 21+050 al 21+600 m



Modelos Centrales

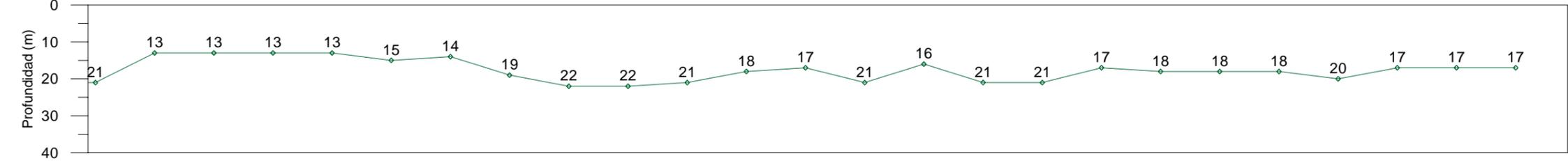
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

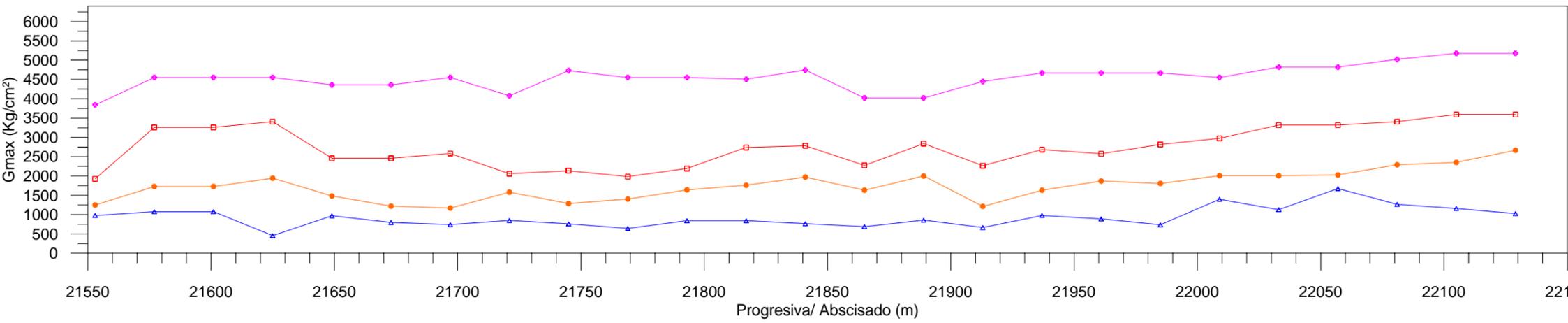
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm² a diferentes profundidades

**Leyenda**

- Estaciones
- Fa en superficie
- Vs30/Clasificación IBC
- Topografía
- Modelos Centrales
- Periodo fundamental (s)
- Transición suelo semiblando/duro
- Rigidez máxima (Gmax) a 10m
- Rigidez máxima (Gmax) a 20m
- Rigidez máxima (Gmax) a 30m
- Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**

Sismógrafos: DaQlink III  
Iseis Sigma

Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**

Nº de canales: 24  
Separación entre geofono: 4m  
Nº de registros: 20x30 segundos.

**Posición Relativa**

Escala Gráfica: 0 2 4 Km

**Leyenda**

- Vías Principales
- Ruta del Metro
- Ubicación del Perfil

**Escala gráfica**

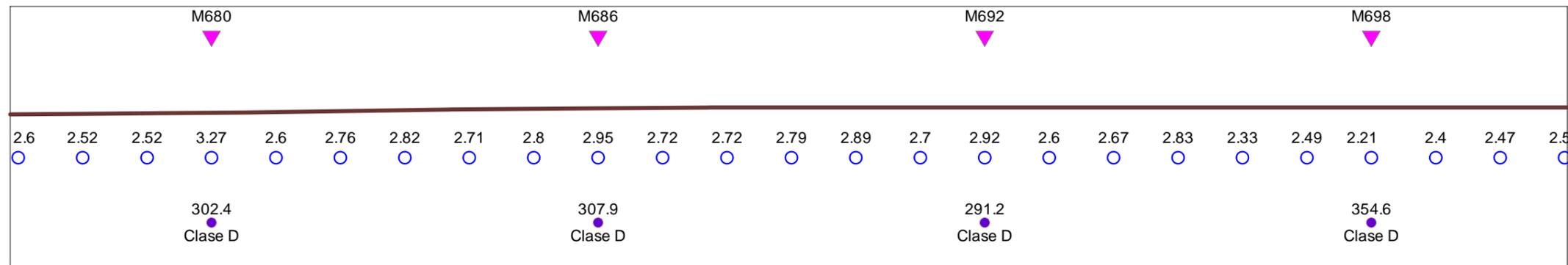
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 07/12/11

**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences | www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Perfiles  
Progresiva 21+550 al 22+150 m

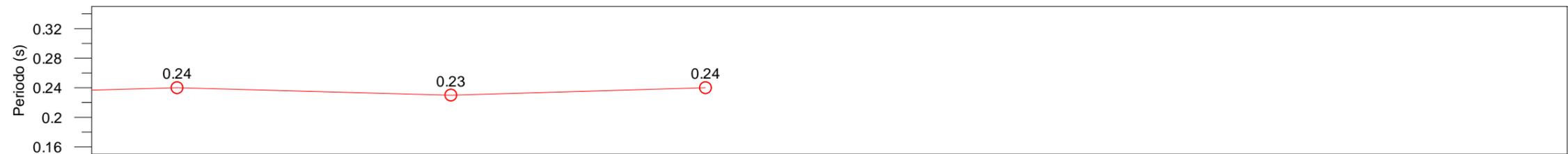


Modelos Centrales

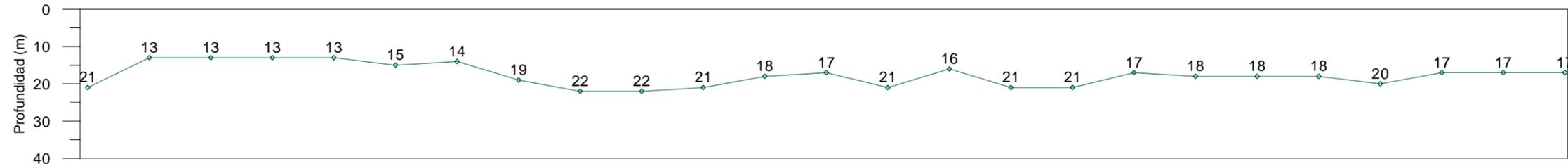
Perfil de Topografía

Factor de Amplificación Sísmico en Superficie

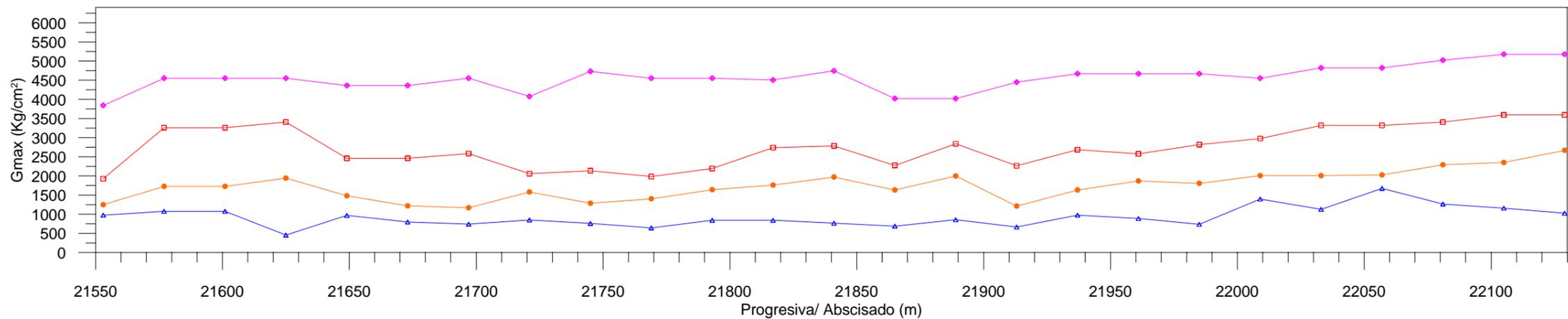
Vs30 (m/s) / Clasificación IBC



Periodo Fundamental (s)



Perfil de Profundidad de la Transición de suelo semiblando a duro/denso



Perfil de Rigidez Máxima (Gmax) en Kg/cm<sup>2</sup> a diferentes profundidades

Leyenda	
	Estaciones
	Fa en superficie
	Vs30/Clasificación IBC
	Topografía
	Modelos Centrales
	Periodo fundamental (s)
	Transición suelo semiblando/duro
	Rigidez máxima (Gmax) a 10m
	Rigidez máxima (Gmax) a 20m
	Rigidez máxima (Gmax) a 30m
	Rigidez máxima (Gmax) a 40m

**Instrumentación**  
 Sismografos: DaQlink III  
 Iseis Sigma  
 Geofonos: OYO Geospace 4.5 Hz

**Parámetros de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geofono: 4m  
 N° de registros: 20x30 segundos.



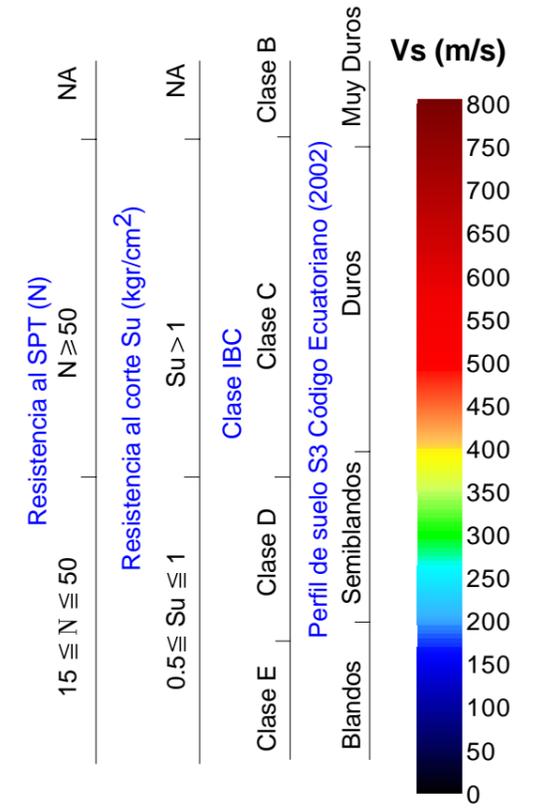
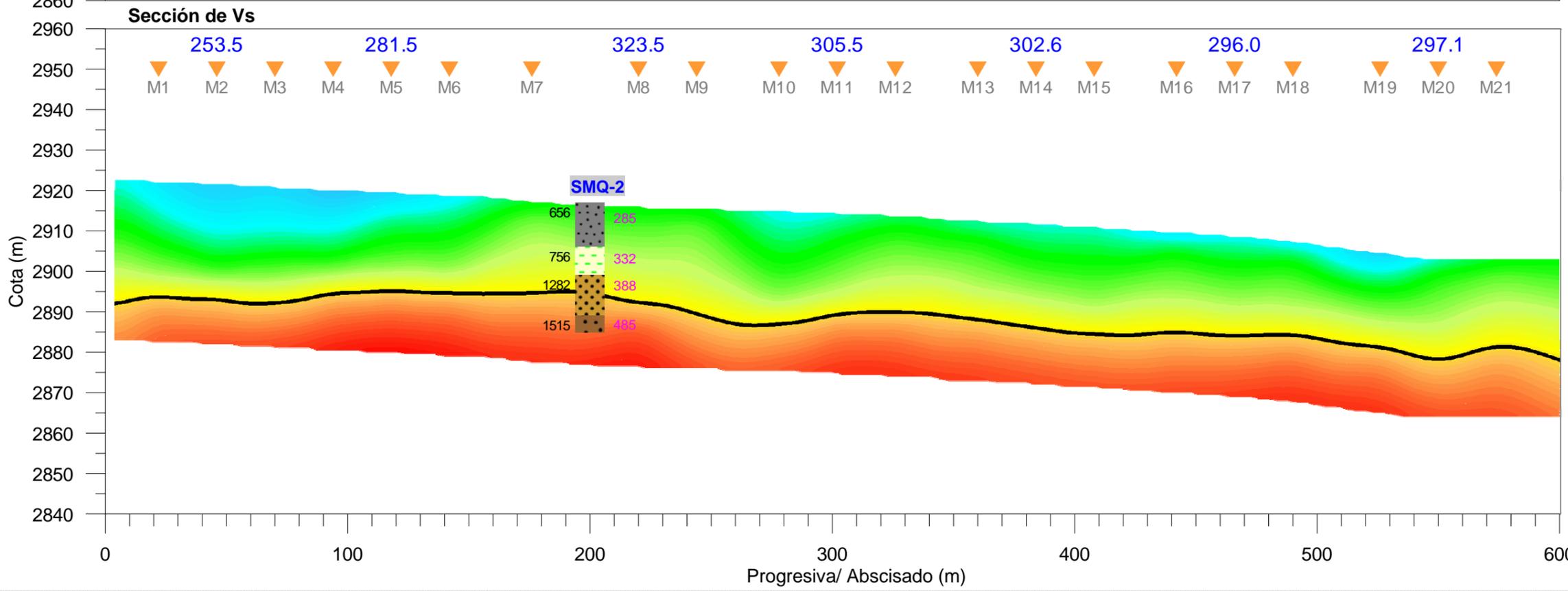
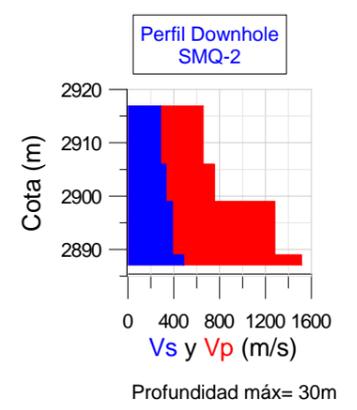
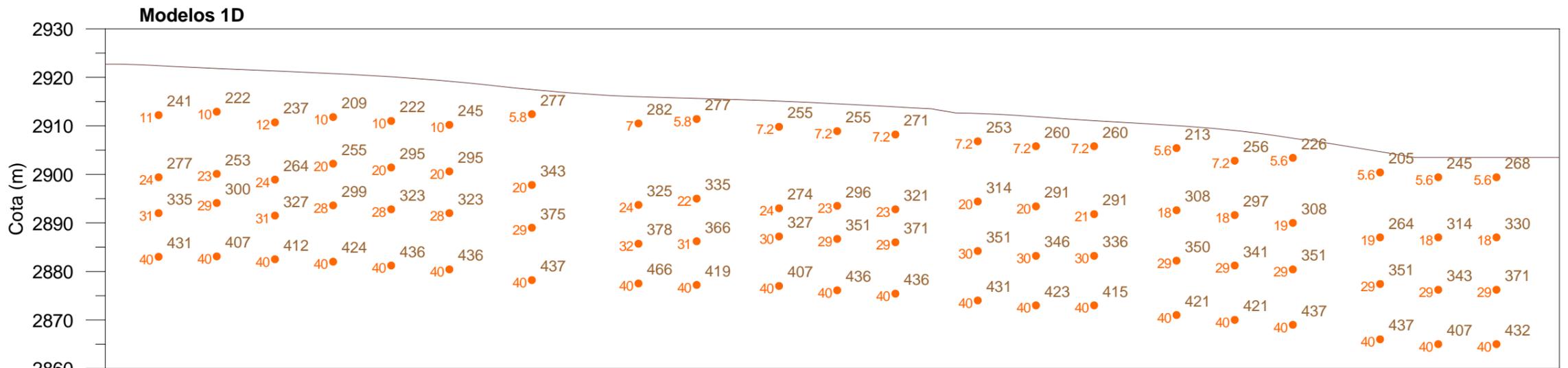
**Escala gráfica**  
 Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 07/12/11

**TRX+ consulting**  
 engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Perfiles  
 Progresiva 21+550 al 22+150 m



#### Leyenda

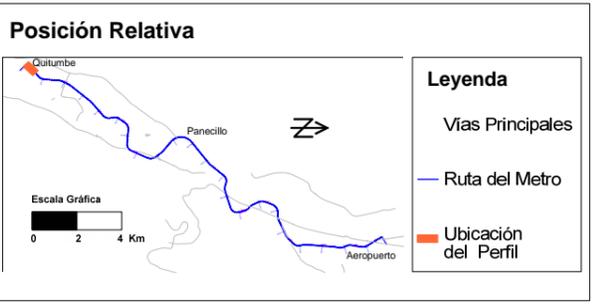
352	Vs (m/s) ReMi	SMQ	Perforación DH	[Symbol]	Substrato duro /denso superior
5	Profundidad (m)	840	Vp (m/s) DH	[Symbol]	Substrato duro /denso inferior
M1	Ubicación modelo	283	Vs (m/s) DH	[Symbol]	Cangahua superior
520.1	Valor $Vs_{30}$ en el modelo central	[Symbol]	Suelo Blando	[Symbol]	Cangahua inferior
[Line]	Nivel Vs 400 m/s	[Symbol]	Capa de transición rígida	[Symbol]	

#### Instrumentación

Sismógrafo: DAQ-link III  
 Iseis Sigma  
 Geófonos: OYO Geospace de 4.5 Hz

#### Parámetro de Adquisición

Nº de canales: 24  
 Separación entre geófonos: 4m  
 Nº Registros: 20x30 segundos



#### Escala gráfica

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

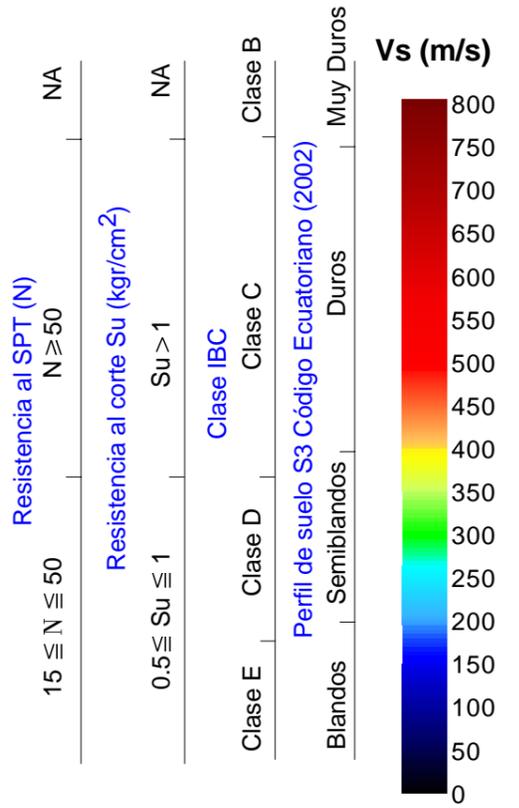
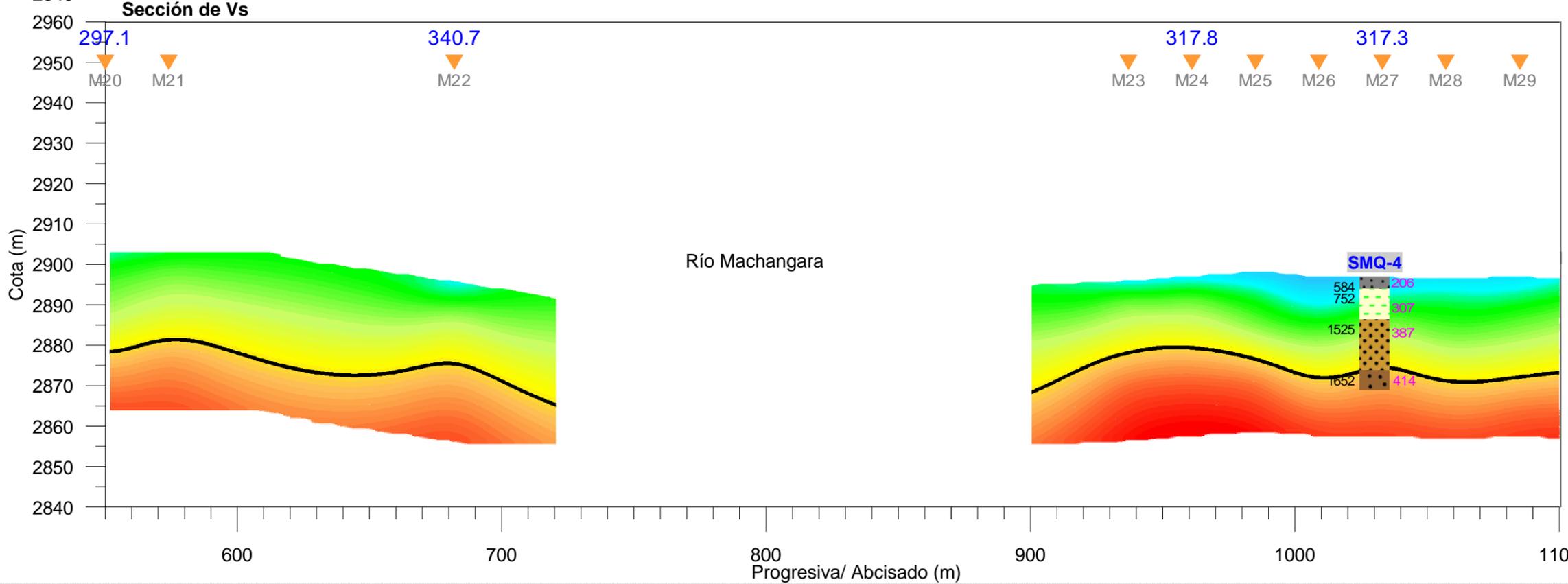
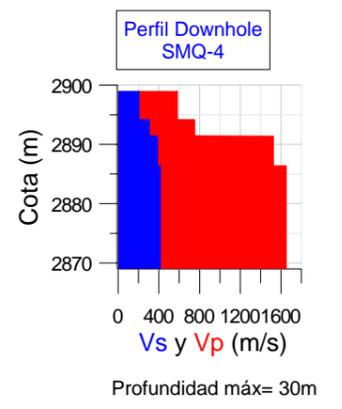
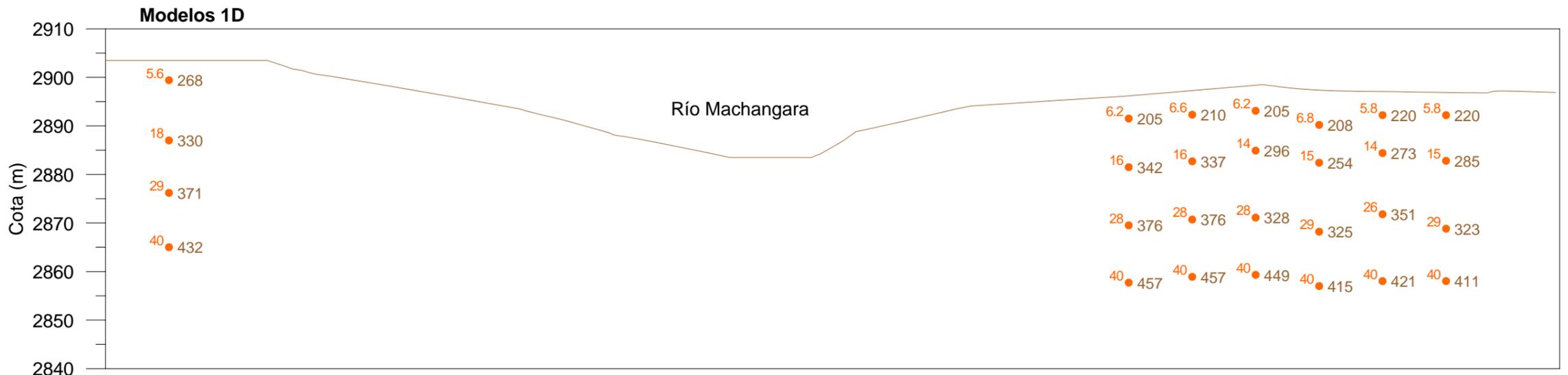
0 20 40 60 80 100m

Fecha: 28/10/11

**TRX consulting**  
 engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Tomografía de ondas de corte Vs.  
 Método Refracción por Microtremor ReMi.  
 Progresiva 0+000 al 0+600 m



#### Leyenda

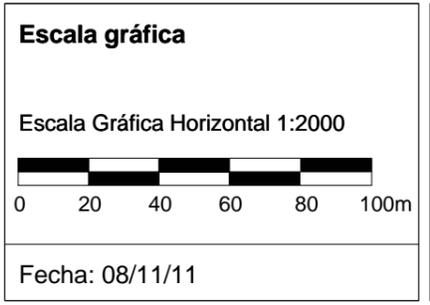
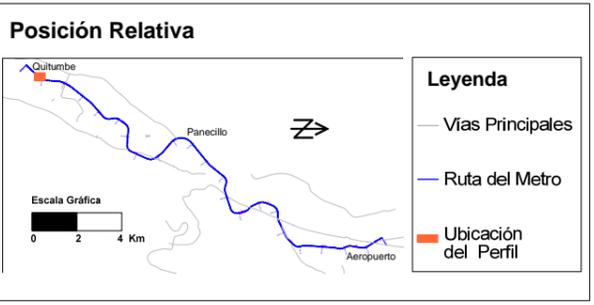
352	Vs (m/s) ReMi	SMQ	Peforación DH		Substrato duro /denso superior
5	Profundidad (m)	840	Vp (m/s) DH		Substrato duro /denso inferior
M1	Ubicación modelo	283	Vs (m/s) DH		Cangahua superior
520.1	Valor $V_{s30}$ en el modelo central		Suelo Blando		Cangahua inferior
	Nivel Vs 400 m/s		Capa de transición rígida		

#### Instrumentación

Sismógrafo: DAQ-link III  
Iseis Sigma  
Geófonos: OYO Geospace de 4.5 Hz

#### Parámetro de Adquisición

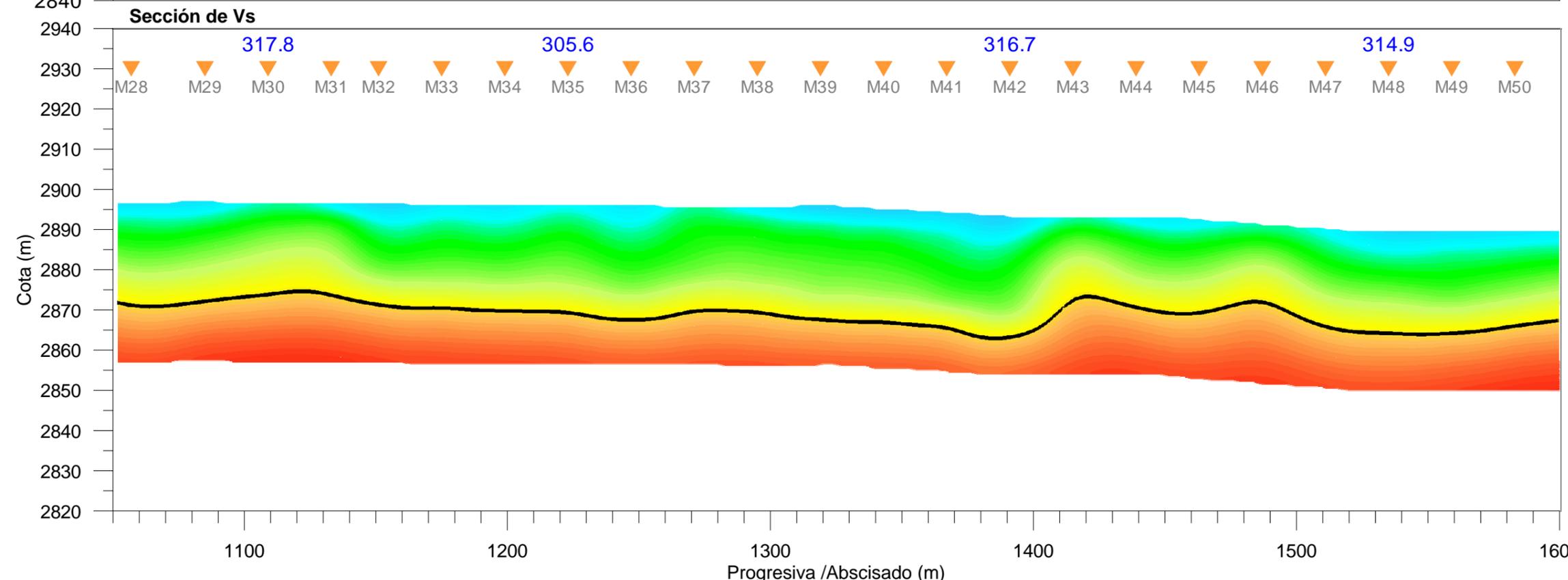
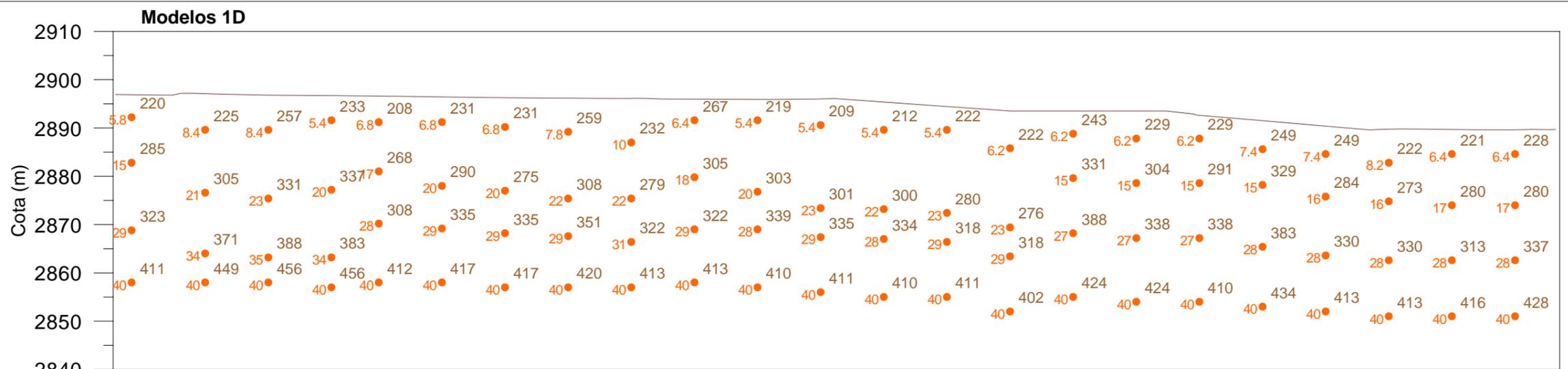
Nº de canales: 24  
Separación entre geófonos: 4m  
Nº Registros: 20x30 segundos



**TRX+ consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Tomografía de ondas de corte Vs.  
Método Refracción por Microtremor ReMi.  
Progresiva 0+550 al 1+100 m



#### Leyenda

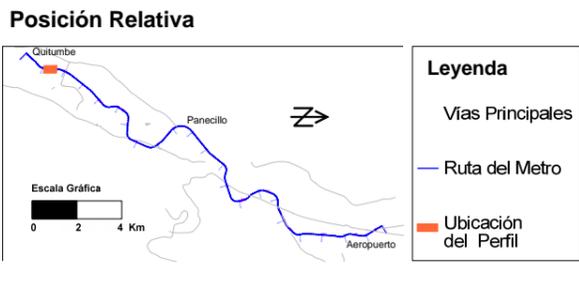
352	Vs (m/s) ReMi	SMQ	Peforación DH		Substrato duro /denso superior
5	Profundidad (m)	840	Vp (m/s) DH		Substrato duro /denso inferior
M1	Ubicación modelo	283	Vs (m/s) DH		Cangahua superior
520.1	Valor Vs <sub>30</sub> en el modelo central		Suelo Blando		Cangahua inferior
	Nivel Vs 400 m/s		Capa de transición rígida		

#### Instrumentación

Sismógrafo: DAQ-link III  
Iseis Sigma  
Geófonos: OYO Geospace de 4.5 Hz

#### Parámetro de Adquisición

Nº de canales: 24  
Separación entre geófonos: 4m  
Nº Registros: 20x30 segundos



#### Escala gráfica

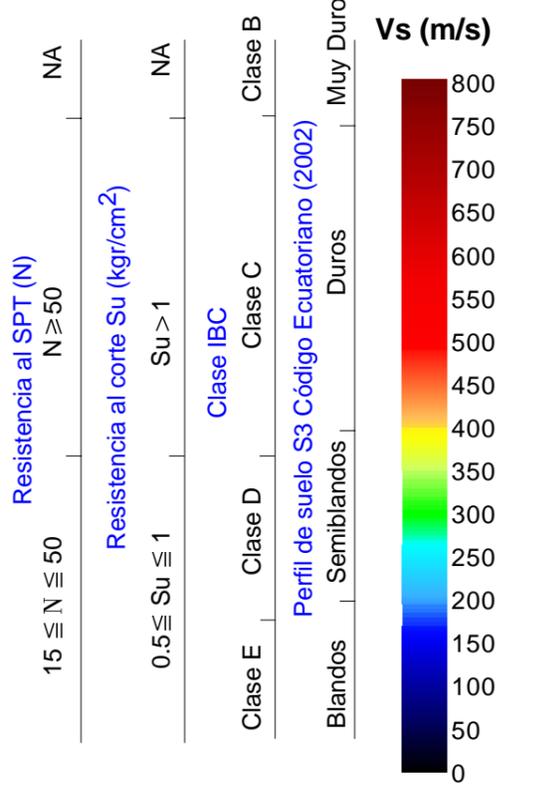
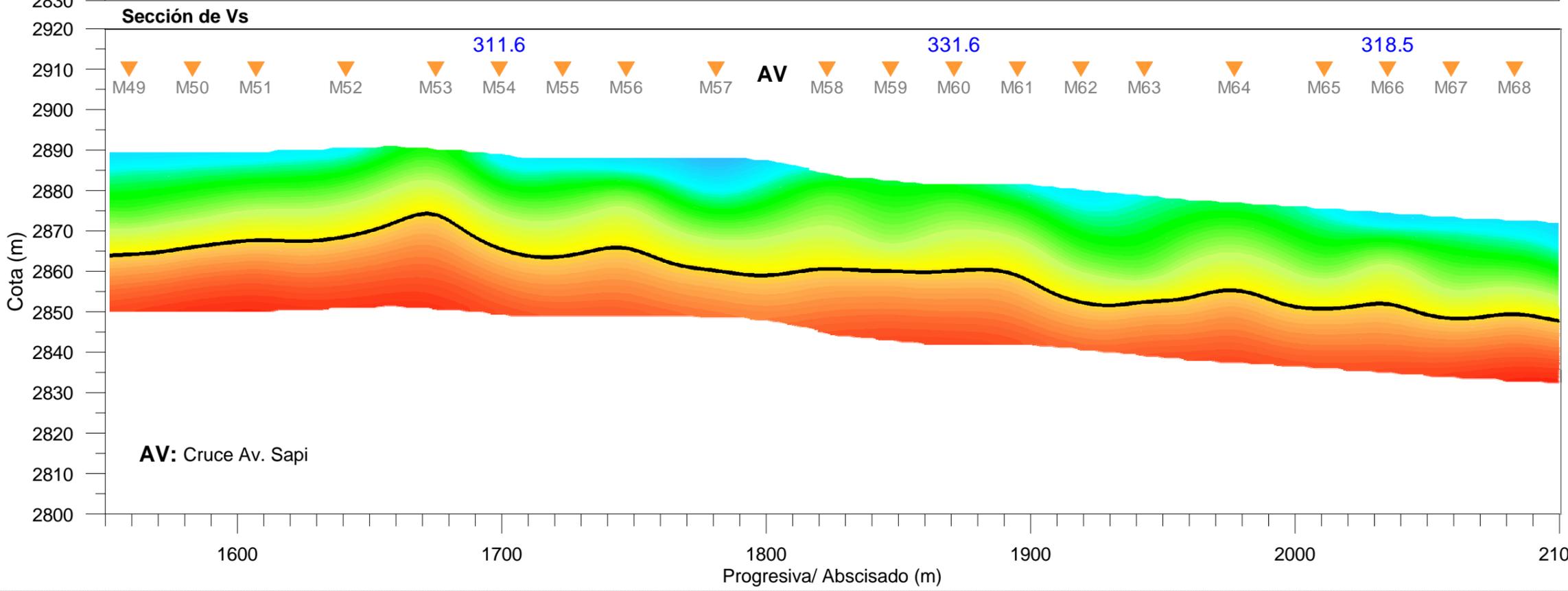
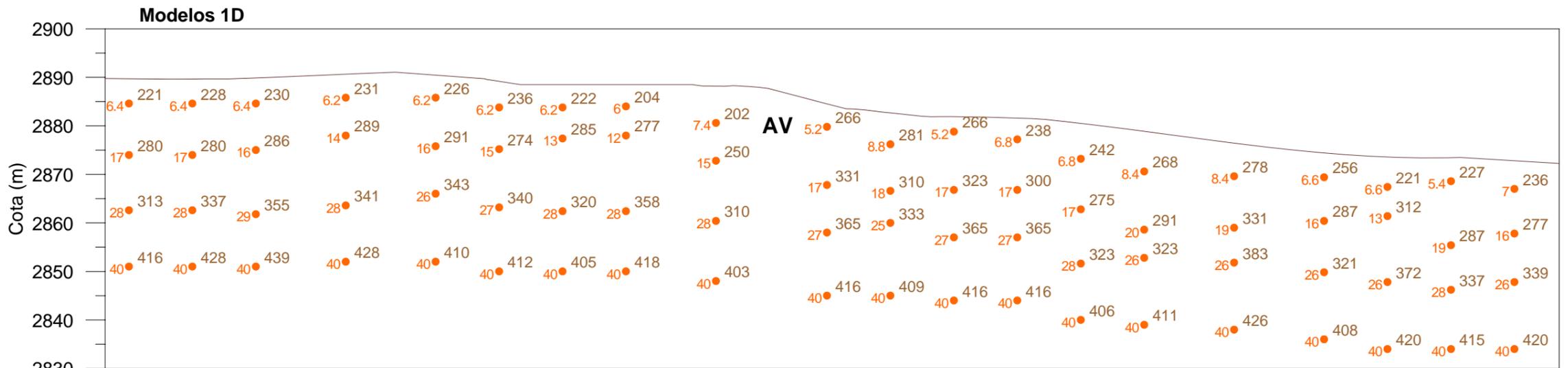
Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 08/11/11

**TRX consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Tomografía de ondas de corte Vs.  
Método Refracción por Microtremor ReMi.  
Progresiva 1+050 al 1+600 m



#### Leyenda

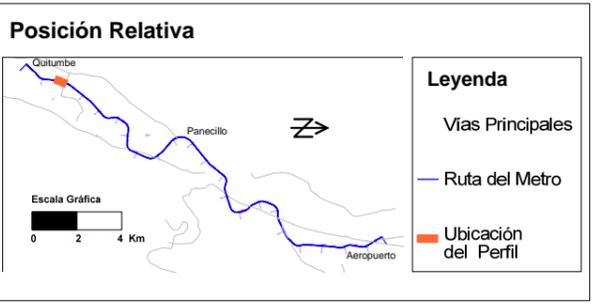
352 Vs (m/s) ReMi	SMQ Peforación DH	Substrato duro /denso superior
5 Profundidad (m)	840 Vp (m/s) DH	Substrato duro /denso inferior
M1 Ubicación modelo	283 Vs (m/s) DH	Cangahua superior
520.1 Valor Vs <sub>30</sub> en el modelo central	Suelo Blando	Cangahua inferior
Nivel Vs 400 m/s	Capa de transición rígida	

#### Instrumentación

Sismógrafo: DAQ-link III  
Iseis Sigma  
Geófonos: OYO Geospace de 4.5 Hz

#### Parámetro de Adquisición

Nº de canales: 24  
Separación entre geófonos: 4m  
Nº Registros: 20x30 segundos



#### Escala gráfica

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

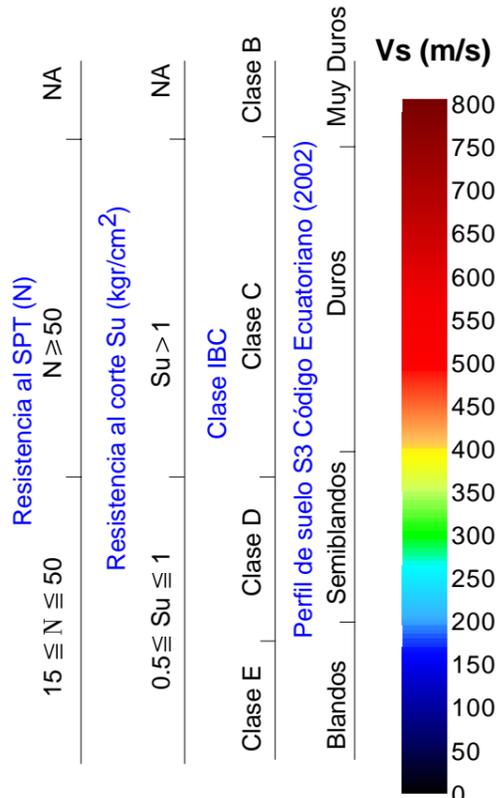
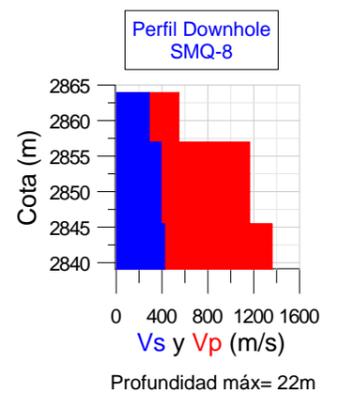
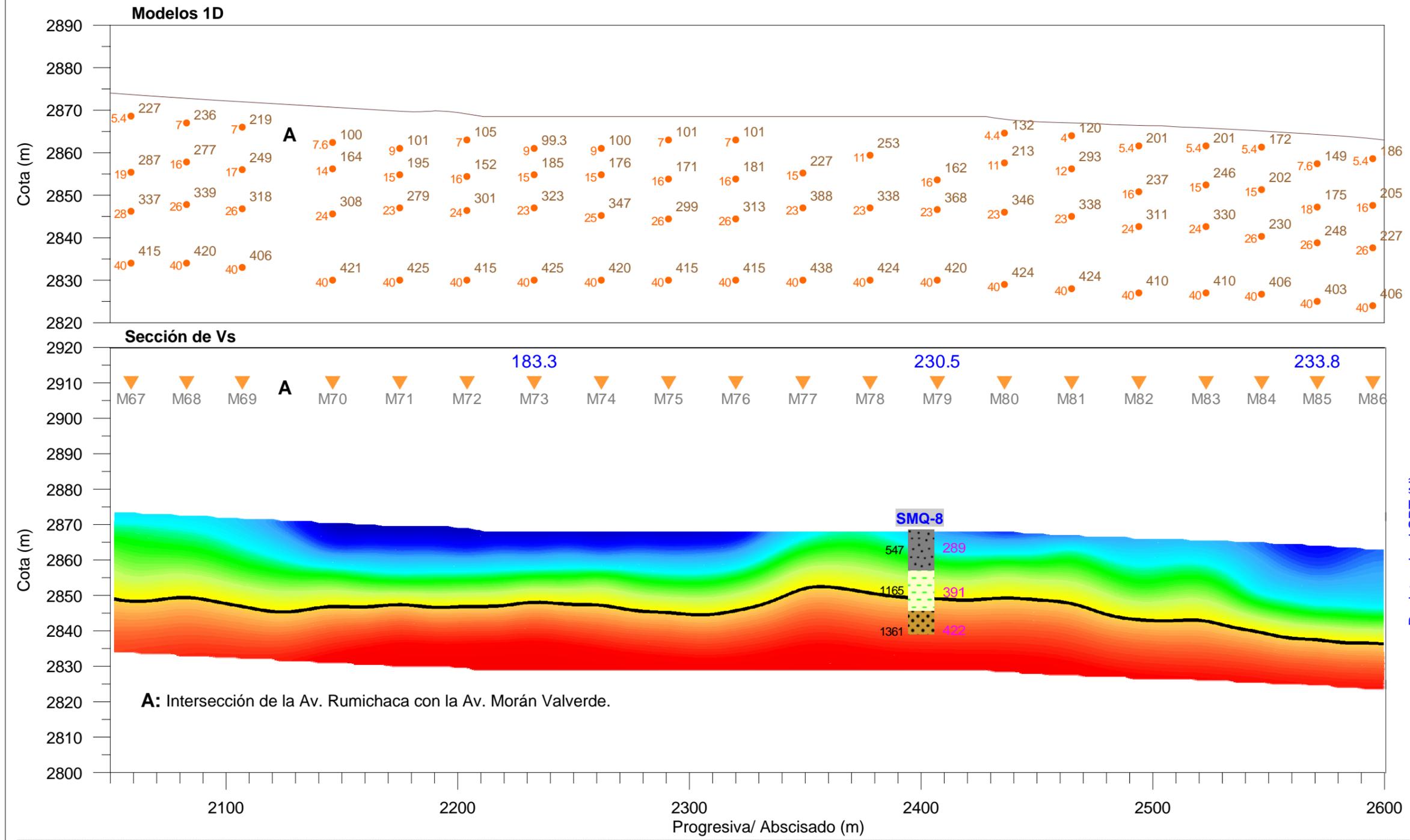
Fecha: 09/11/11

**TRX consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Tomografía de ondas de corte Vs.  
Método Refracción por Microtremor ReMi.  
Progresiva 1+550 al 2+100 m

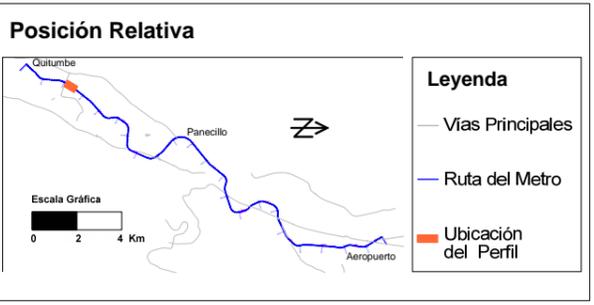




Leyenda		Ensayos Downholes	
352	Vs (m/s) ReMi	SMQ	Peforación DH
5	Profundidad (m)	840	Vp (m/s) DH
M1	Ubicación modelo	283	Vs (m/s) DH
520.1	Valor Vs <sub>30</sub> en el modelo central	[Symbol]	Suelo Blando
[Line]	Nivel Vs 400 m/s	[Symbol]	Substrato duro /denso superior
		[Symbol]	Substrato duro /denso inferior
		[Symbol]	Cangahua superior
		[Symbol]	Cangahua inferior
		[Symbol]	Capa de transición rígida

**Instrumentación**  
 Sismógrafo: DAQ-link III  
 Iseis Sigma  
 Geófonos: OYO Geospace de 4.5 Hz

**Parámetro de Adquisición**  
 N° de canales: 24  
 Separación entre geófonos: 4m  
 N° Registros: 20x30 segundos



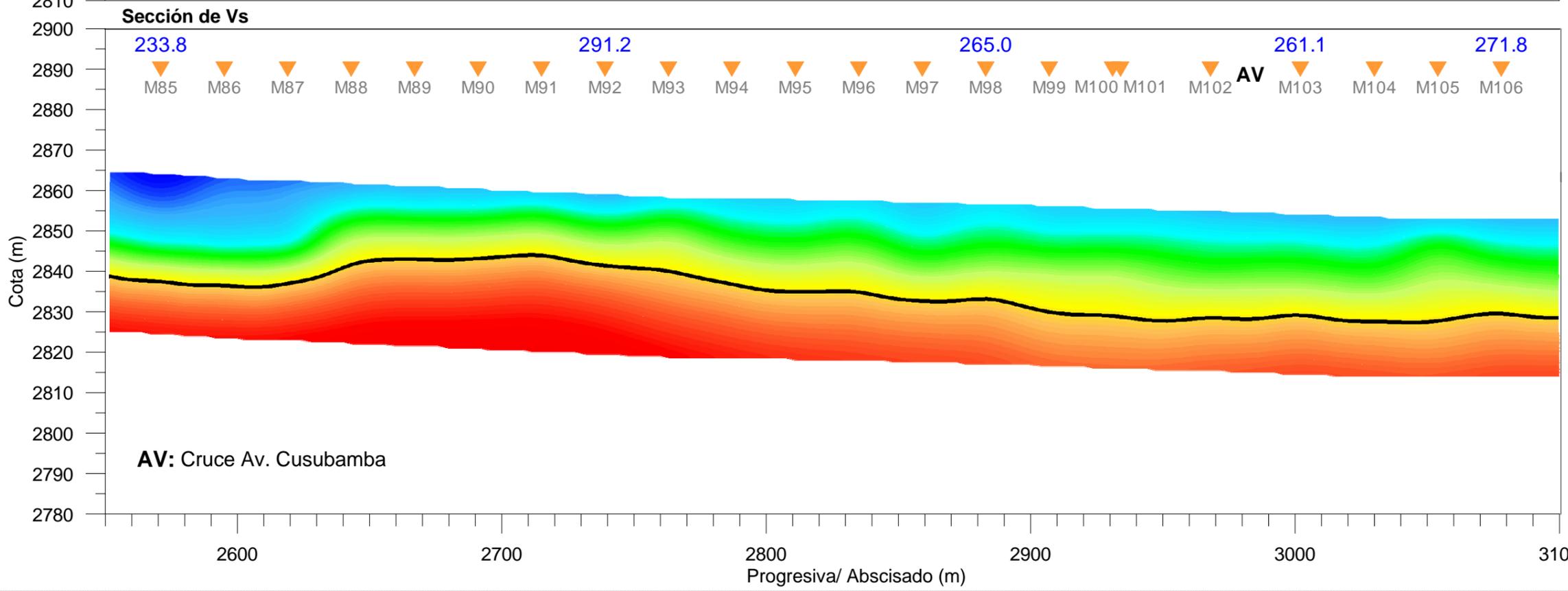
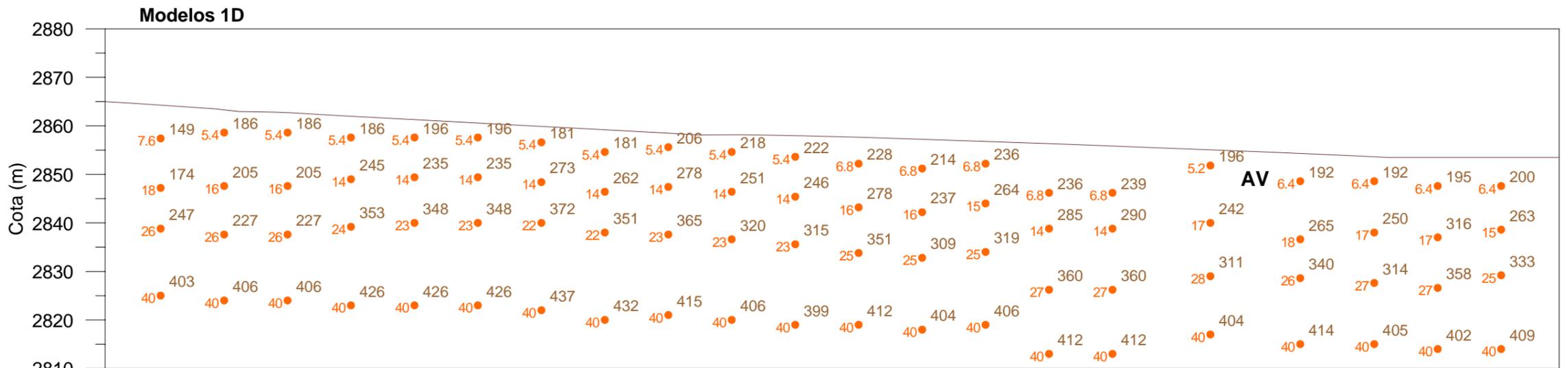
**Escala gráfica**  
 Escala Gráfica Horizontal 1:2000  
 0 20 40 60 80 100m

Fecha: 10/11/11

**TRX consulting**  
 engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
 Tomografía de ondas de corte Vs.  
 Método Refracción por Microtremor ReMi.  
 Progresiva 2+050 al 2+600 m



#### Leyenda

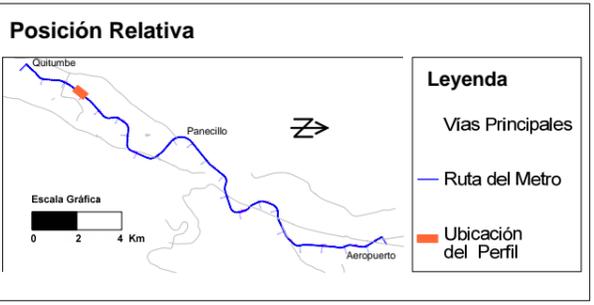
352 Vs (m/s) ReMi	SMQ Peforación DH	Substrato duro /denso superior
5 Profundidad (m)	840 Vp (m/s) DH	Substrato duro /denso inferior
M1 Ubicación modelo	283 Vs (m/s) DH	Cangahua superior
520.1 Valor Vs <sub>30</sub> en el modelo central	Suelo Blando	Cangahua inferior
Nivel Vs 400 m/s	Capa de transición rígida	

#### Instrumentación

Sismógrafo: DAQ-link III  
Iseis Sigma  
Geófonos: OYO Geospace de 4.5 Hz

#### Parámetro de Adquisición

Nº de canales: 24  
Separación entre geófonos: 4m  
Nº Registros: 20x30 segundos



#### Escala gráfica

Escala Gráfica Horizontal 1:2000

Fecha: 11/11/11

**TRX consulting**  
engineering & earth sciences www.trxconsulting.com

**Proyecto: Línea 1 Metro de Quito**

Cliente: UNMQ  
Tomografía de ondas de corte Vs.  
Método Refracción por Microtremor ReMi.  
Progresiva 2+550 al 3+100 m