



ANEXO 3: ANALISIS HIDROLOGICO - CURVAS IDF

TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago K14+600 AL K14+800

1. Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

A. DATOS HIDROLOGICOS

Estación:	27015090 TULLIO OSPINA
Departamento:	Antioquia
Municipio:	Bello
Corriente:	Medellín

Latitud:	0619 N
Longitud:	7533 W
Altura m/s/n/m:	1438

DATOS DE : PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1950									120,0	144,0	139,0	40,5	443,5
1951	53,0	167,5	26,0	153,0	100,5	118,0	156,0	95,4	141,0	178,8	142,0	73,2	1404,4
1952	50,3	75,1	62,7	141,5	184,8	142,3	118,4	100,8	186,0	157,0	211,0	71,5	1501,4
1953	53,5	63,5	26,0	127,5	298,0	96,5	49,5	48,0	177,5	257,0	150,0	61,0	1408,0
1954	29,0	33,5	11,0	197,5	159,0	237,0	152,0	72,0	157,5	199,0	130,0	126,0	1503,5
1955	22,0	16,0	112,5	220,0	118,7	216,0	232,5	89,5	181,0	295,0	152,5	62,0	1717,7
1956	101,3	148,5	37,0	58,0	181,0	115,4	64,8	120,0	123,0	172,0	79,0	98,0	1298,0
1957	0,0	59,0	7,0	87,8	195,3	14,6	44,8	55,0	105,8	153,1	76,4	7,8	806,6
1958	37,0	4,5	62,4	99,7	246,9	60,9	54,0	92,5	80,2	193,6	42,5	100,6	1074,8
1959	9,1	20,7	62,7	66,4	116,5	112,4	94,0	108,5	131,0	133,5	155,7	22,6	1033,1
1960	90,0	76,0	42,6	196,0	200,0	126,4	162,0	133,5	136,0	105,2	108,7	68,1	1444,5
1961	28,1	75,5	151,9	113,1	68,5	146,4	136,1	79,6	90,2	89,6	245,5	72,5	1297,0
1962	50,7	75,7	64,3	142,9	250,3	219,3	48,6	104,3					956,1
1968						143,7	118,7	116,3	192,9	147,2	170,6	15,3	904,7
1969	58,3	17,0	18,4	247,7	195,6	65,9	22,4	108,2	157,0	182,1	106,4	26,9	1205,9
1970	29,7	33,1	71,0	153,6	196,4	130,8	102,9	132,6	180,8	296,1	211,4	60,2	1598,6
1971	140,3	71,0	174,8	119,9	315,9	133,3	125,4	242,0	183,1	175,1	70,2	51,9	1802,9
1972	57,0	22,2	72,0	117,0	246,9	129,9	130,2	122,8	102,8	189,3	148,9	43,7	1382,7
1973	13,1	5,5	53,9	116,2	216,7	201,8	142,0	181,0	250,3	142,4	163,6	136,2	1622,7
1974	49,3	69,9	67,0	147,3	176,1	155,5	88,0	172,6	288,4	240,5	113,2	9,2	1577,0
1975	11,0	76,7	74,1	106,6	169,0	155,5	176,4	236,9	134,2	181,6	194,4	119,8	1636,2
1976	32,7	70,2	48,1	195,7	187,2	161,4	8,5	64,3	84,8	257,3	137,1	21,1	1268,4
1977	18,4	33,9	86,3	106,2	155,2	209,0	137,6	147,6	228,6	204,2	186,0	29,4	1542,4
1978	25,6	12,1	126,3	222,1	162,6	160,2	120,1	60,2	150,3	140,6	183,0	83,1	1446,2
1979	22,2	17,0	51,4	329,1	184,1	110,7	58,3	108,8	152,1	164,8	163,1	37,7	1399,3
1980	39,4	15,0	43,7	134,8	202,4	84,7	92,0	78,2	155,9	260,8	153,9	82,8	1343,6
1981	1,5	46,8	106,0	218,1	242,4	222,8	230,4	158,2	141,5	166,8	123,4	74,4	1732,3
1982	54,2	64,0	77,0	264,6	256,6	76,9	84,6	66,3	119,2	205,0	121,8	23,3	1413,5
1983	17,8	17,5	109,9	205,8	96,0	95,2	82,1	127,9	151,9	141,3	105,9	128,7	1280,0
1984	27,7	55,6	34,8	102,4	286,2	215,8	174,5	226,5	235,3	252,2	131,9	62,7	1805,6
1985	20,3	24,1	202,4	104,6	178,9	80,7	154,4	254,1	207,4	218,5	93,4	19,9	1558,7
1986	37,5	84,8	98,9	218,4	140,7	177,3	35,8	85,6	78,2	292,6	89,9	37,4	1377,1
1987	11,1	27,4	168,2	157,5	251,5	43,2	179,2	59,9	231,9	261,5	138,2	98,8	1628,4
1988	20,0	53,4	26,7	118,4	219,7	186,0	154,7	280,1	215,8	233,6	172,8	127,5	1808,7
1989	42,2	78,4	109,4	101,1	228,1	134,0	69,1	188,8	265,0	156,4	36,3	144,8	1553,6
1990	39,1	52,3	79,0	299,8	100,6	152,7	120,2	83,4	203,2	330,9	107,9	27,7	1596,8
1991	41,0	7,9	109,4	94,6	197,7	123,2	89,3	31,1	129,8	210,8	97,7	83,6	1216,1
1992	14,6	38,3	25,2	108,3	159,7	61,0	51,0	161,7	126,7	63,4	101,4	102,0	1013,3
1993	80,2	2,3	105,3	139,6	229,4	74,1	132,5	109,1	286,0	175,9	222,0	88,6	1645,0
1994	36,3	66,8	91,0	222,6	117,9	110,8	62,2	135,1	69,2	191,6	222,4	32,6	1358,5
1995	2,5	25,8	94,2	163,3	150,9	174,0	154,5	135,4	148,4	130,4	163,8	151,2	1494,4
1996	81,5	66,9	167,3	123,7	288,1	183,3	178,5	170,5	134,5	188,7	68,5	36,9	1688,4
1997	88,8	121,2	99,9	113,0	76,5	191,9	41,0	12,9	119,9	123,4	139,8	11,6	1139,9
1998	4,6	39,4	78,3	176,5	211,4	102,5	154,4	107,6	256,7		204,6	130,4	1466,4
1999	69,7		131,3	147,1	171,1	180,8	71,8	67,8	215,0	286,1	156,0	139,6	1636,3
2000	44,2	57,3	122,0	106,9	267,1	182,4	132,7	136,8	304,7	185,6	42,2	68,0	1649,9
2001	31,8	25,1	117,8	42,1	109,6	72,0	119,8	17,3	132,7	219,7	126,3	94,9	1109,1
2002	22,7	30,2	89,4	143,7	128,7	110,5	64,0	51,1	71,1	220,1	64,4	92,8	1088,7
2003	0,9	116,6	104,5	120,2	184,5	201,3	50,1	103,9	206,6	224,2	104,3	59,0	1476,1
2004	71,8	71,6	37,5	193,7	255,6	123,7	174,8	125,0	187,9	313,9	182,4	15,2	1753,1
2005	27,2	11,3	101,7	119,7	319,6	129,8	142,3	90,3	130,6	259,7	117,1	82,3	1531,6
2006	89,5	38,2	120,5	275,5	225,4	109,5	60,0	122,7	142,4	199,0	227,4	61,8	1671,9
2007		2,0	101,5	245,6	208,0	70,1	117,6	194,7	185,0	325,2	64,3	111,7	1625,7
2008	42,7	150,7	126,7	202,9	312,0	205,6	203,1	272,9	175,8	260,0	169,5	37,5	2159,4
2009	70,4	56,5	112,1	118,6	125,6	140,2	59,9	92,9	79,4	205,2	166,4	42,8	1270,0
2010		25,9	38,9	181,8	183,4	252,5	282,8	142,3	279,3	221,8	334,3	146,7	2089,7
2011	70,5	176,7	131,9	417,3	219,2	237,5	187,7	142,4	182,0	256,4	202,2	152,7	2376,5
2012	58,6	19,4	92,1	313,0	159,5	79,0	46,8	140,8					909,2
SUMA	2241,9	2913,5	4763,9	9160,0	10829,2	7947,9	6497,0	6965,7	9303,5	11179,7	7932,6	4008,2	83743,1
MEDIA													
MAX	140,3	176,7	202,4	417,3	319,6	252,5	282,8	280,1	304,7	330,9	334,3	152,7	417,3
MIN	0,0	2,0	7,0	42,1	68,5	14,6	8,5	12,9	69,2	68,4	36,3	7,8	0,0



ANEXO 3: ANALISIS HIDROLOGICO - CURVAS IDF

TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago K14+600 AL K14+800

DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1950									56,0	36,0	19,0	8,0	56,0
1951	33,5	38,0	8,0	46,5	32,0	30,5	40,0						46,5
1952									25,0	51,0	5,0	29,0	51,0
1953	20,0	51,0	12,5	41,0	43,5	21,5	9,5	18,0	32,5	26,0	19,5	18,0	51,0
1954	17,0	13,5	6,0	58,0	30,5	53,0	30,0	29,0	38,0	37,0	31,5	61,0	61,0
1955	12,0	11,0	50,0	44,0	30,5	35,0	64,0	22,0	49,0	55,0	36,0	25,5	64,0
1956	37,0	34,0	9,5	15,5	27,0	21,0	13,0	19,0	16,0	38,0	19,0	62,0	62,0
1957	0,0	30,0	4,0	21,0	43,1	7,8	23,5	13,0	27,0	46,0	18,5	5,8	46,0
1958	26,8	4,5	37,0	48,9	80,5	15,0	21,0	20,5	25,0	31,1	19,5	42,5	80,5
1959	6,6	7,4	40,6	19,0	16,4	18,9	31,1	24,0	21,0	43,6	36,0	13,0	43,6
1960	54,5	32,7	17,5	37,3	41,1	43,3	51,3	25,9	29,8	21,3	18,8	19,1	54,5
1961	28,1	35,2	46,8	27,6	15,8	29,8	41,4	11,8	27,1	12,8	82,1	38,0	82,1
1962					35,5	46,0	13,0	24,5					46,0
1968						36,6	27,7	43,3	48,7	24,8	47,8	12,0	48,7
1969	15,8	9,7	6,1	56,0	76,5	17,7	12,8	12,8			20,2	10,7	76,5
1970										43,5	33,2	13,8	43,5
1971	40,8	24,3	51,6	20,5	57,4	12,9	27,3	34,1	29,0	30,4	14,6	15,0	57,4
1972	20,2	6,8	14,2	31,0	41,1	23,5	59,5	27,3	31,5	61,7	40,4	12,7	61,7
1973	4,7	5,0	14,9	22,4	34,3	39,1	35,3	37,7	26,1	19,8	36,8	22,2	39,1
1974	18,3	13,6	11,5	42,5	29,4	69,9	18,2	44,3	50,5	29,0	22,6	8,3	69,9
1975	4,9	18,2	15,8	28,0	20,7	39,8	26,4	43,4	18,5	30,7	54,5	23,4	54,5
1976	5,9	41,6	15,1	31,8	50,0	23,7	5,2	15,7	21,6	44,1	45,9	9,5	50,0
1977	17,5	8,4	32,3	34,6	37,0	61,6	23,2	33,3	41,4	28,6	63,9	22,6	63,9
1978	16,7	7,0	49,5	31,9	44,0	35,4	43,5	9,9	22,0	22,0	41,8	32,6	49,5
1979	9,2	6,3	23,3	152,6	44,4	29,0	17,0			25,3	37,4	11,4	152,6
1980	12,9	8,3	30,1	72,1	51,2	17,8	16,7	13,4		60,6		24,0	72,1
1981	0,9	30,0	48,2	50,7	33,2	74,6	79,5	51,4	33,3	20,3	36,4	26,9	79,5
1982	17,2	13,0	10,0	40,4	22,9	21,7	32,7	28,0	15,0	42,3	42,9	11,2	42,9
1983	17,5	10,6	43,0	31,7	17,7	20,8	10,9	24,2	34,9	47,8	43,6	40,1	47,8
1984	11,5	16,1	18,6	20,9	64,7	40,6	47,2	47,8	31,8	28,2	38,6	20,4	64,7
1985	8,5	6,5	81,8	26,3	38,8	40,0	70,0	32,0	30,7	42,0	20,1	7,4	81,8
1986	29,4	28,0	41,2	56,6	28,8	33,8	18,5	16,4	12,1	51,8	20,1	21,6	56,6
1987	6,7	9,7	73,8	39,2	43,2	17,4	41,1	23,5	36,0	42,5	50,6	31,5	73,8
1988	11,6	21,5	10,0	38,8	60,4	29,9	34,0	25,7	26,5	43,4	20,0	24,2	60,4
1989	11,6	32,6	29,6	24,5	55,6	21,8	24,4	42,6	49,0	34,0	7,0	55,8	55,8
1990	11,5	28,8	20,2	77,5	25,4	54,6	43,8	22,0	42,0	55,6	14,2	10,2	77,5
1991	18,7	5,8	28,6	40,8	47,4	20,0	30,4	14,5	25,0	67,2	23,2	23,2	67,2
1992	5,1	10,0	12,3	21,6	25,0	22,2	16,0	43,4	23,8	11,6	27,0	40,0	43,4
1993	34,6	1,0	16,7	32,4	66,3	24,4	24,7	21,6	60,5	44,0	37,0	51,4	66,3
1994	22,2	23,3	34,0	32,4	22,6	19,2	19,5	30,0	18,9	47,0	35,5	17,3	47,0
1995	2,4	17,0	48,4	46,6	31,6	52,4	30,2			47,0	60,0	40,0	60,0
1996	29,0	18,0	44,5	29,0	45,0	28,0	56,0	42,0	28,0	31,0	14,2	11,2	56,0
1997	26,0	62,0	37,0	33,0	17,0	26,0	18,6	8,0	34,0	38,0	30,0	8,0	62,0
1998	2,6	33,0	24,0	30,0	49,0	14,0	21,0	30,0	45,0				49,0
1999			30,0	25,0	39,0	30,0	16,0	17,1	27,0	47,0	39,8	36,0	47,0
2000	16,0	14,0	58,0	17,0	29,0	30,0	32,9	20,8	76,0	35,0	9,9	18,0	76,0
2001	13,4	15,2	48,4	10,2	21,3	18,3	18,8	6,2	17,2	50,0	36,0	37,5	50,0
2002	18,0	11,4	31,0	28,2	30,4	38,6	15,5	19,8	21,0	44,0	25,0	27,0	44,0
2003	0,9	65,0	44,5	21,4	32,7	32,2	12,8	42,0	66,0	40,6	27,9	14,6	66,0
2004	34,0	21,5	10,7	47,7	43,0	56,0	31,5	55,6	38,9	70,0	63,8	8,8	70,0
2005	7,4	4,2	35,0	16,2	65,0	28,1	47,2	18,7	31,8	36,4	22,0	23,1	65,0
2006	31,4	15,5	36,5	67,0	51,5	23,0	17,0	20,4	36,3	32,0	53,6	27,0	67,0
2007		2,0	33,5	40,0	23,0	25,0	21,6	28,0	36,4	50,3	14,3	24,8	50,3
2008	20,0	66,8	36,8	62,0	54,7	27,6	38,7	63,2	28,3	36,0	19,5	21,6	66,8
2009	17,8	31,5	22,8	36,5	26,3	36,0	15,9	15,4	27,5	44,0	54,5	25,5	54,5
2010		20,6	10,1	42,5	19,8	42,5	39,5	38,0	28,4	57,4	43,0	42,0	57,4
2011	39,0	52,0	23,2	67,0	76,2	56,7	34,2	22,6	36,0	55,4	45,5	46,2	76,2
2012	14,2	7,3	24,0	58,2	22,6	20,0	11,2						58,2
MAX	54,5	66,8	81,8	152,6	80,5	74,6	79,5	63,2	76,0	70,0	82,1	62,0	152,6
MIN	0,0	1,0	4,0	10,2	15,8	7,8	5,2	6,2	12,1	11,6	5,0	5,8	15,8

MEDIA	30,6
VARIANZA	286,6
DESV	16,9170
Coefficiente de Variación	0,6
Valor Medio Nivel freático	4,4m
Desviación Estándar para nivel freático	2,64m

TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago K14+600 AL K14+800

B. REGISTRO PLUVIOMETRICO - METODO GUMBEL

No	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	\bar{x}_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1950	SEP	56,0	22,60
2	1951	DIC	46,5	203,16
3	1952	DIC	51,0	95,13
4	1953	DIC	51,0	95,13
5	1954	DIC	61,0	0,06
6	1955	DIC	64,0	10,54
7	1956	DIC	62,0	1,55
8	1957	DIC	46,0	217,66
9	1958	DIC	80,5	389,93
10	1959	DIC	43,6	294,24
11	1960	DIC	54,5	39,11
12	1961	DIC	82,1	455,68
13	1962	DIC	46,0	217,66
14	1968	DIC	48,7	145,29
15	1969	ABR	76,5	247,95
16	1970	DIC	43,5	297,68
17	1971	DIC	57,4	11,25
18	1972	DIC	61,7	0,90
19	1973	DIC	39,1	468,87
20	1974	DIC	69,9	83,66
21	1975	DIC	54,5	39,11
22	1976	DIC	50,0	115,64
23	1977	DIC	63,9	9,90
24	1978	DIC	49,5	126,64
25	1979	DIC	152,6	8435,79
26	1980	DIC	72,1	128,74
27	1981	DIC	79,5	351,43
28	1982	DIC	42,9	318,75
29	1983	DIC	47,8	167,79
30	1984	DIC	64,7	15,58
31	1985	DIC	81,8	442,96
32	1986	DIC	56,6	17,25
33	1987	DIC	73,8	170,21
34	1988	DIC	60,4	0,12
35	1989	DIC	55,8	24,54
36	1990	DIC	77,5	280,45
37	1991	DIC	67,2	41,56
38	1992	DIC	43,4	301,14
39	1993	DIC	66,3	30,76
40	1994	DIC	47,0	189,16
41	1995	DIC	60,0	0,57
42	1996	JUL	56,0	22,60
43	1997	DIC	62,0	1,55
44	1998	DIC	49,0	138,14
45	1999	DIC	47,0	189,16
46	2000	DIC	76,0	232,46
47	2001	DIC	50,0	115,64
48	2002	DIC	44,0	280,68
49	2003	DIC	66,0	27,53
50	2004	JUN	70,0	85,50
51	2005	DIC	65,0	18,03
52	2006	DIC	67,0	39,02
53	2007	DIC	50,3	109,27
54	2008	DIC	66,8	36,56
55	2009	DIC	54,5	39,11
56	2010	DIC	57,4	11,25
57	2011	DIC	76,2	238,60
58	2012	DIC	58,2	6,52
<i>Suma</i>			3523,7	16097,72

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 60,75 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 16,81 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S = 13,10 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 53,19 \text{ mm}$$

TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago K14+600 AL K14+800

C. CALCULO PARA DISTINTAS FRECUENCIAS

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT(mm)	F(XT)	XT (mm)
2,33	0,5786	60,7716	0,5708	68,6720
5	1,4999	72,8441	0,8000	82,3138
10	2,2504	82,6770	0,9000	93,4250
25	3,1985	95,1008	0,9600	107,4639
50	3,9019	104,3175	0,9800	117,8788
100	4,6001	113,4661	0,9900	128,2167

D. CALCULO DE INTENSIDAD

Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas
Fuente: D. F. Campos A., 1978

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	P.M.P. (mm) para diferentes tiempos de duración - Periodo de Retorno					
		2,33 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
24 hr	X24	68,6720	82,3138	93,4250	107,4639	117,8788	128,2167
18 hr	X18 = 91%	62,4915	74,9056	85,0167	97,7921	107,2697	116,6772
12 hr	X12 = 80%	54,9376	65,8511	74,7400	85,9711	94,3030	102,5734
8 hr	X8 = 68%	46,6969	55,9734	63,5290	73,0754	80,1576	87,1874
6 hr	X6 = 61%	41,8899	50,2114	56,9892	65,5530	71,9060	78,2122
5 hr	X5 = 57%	39,1430	46,9189	53,2522	61,2544	67,1909	73,0835
4 hr	X4 = 52%	35,7094	42,8032	48,5810	55,8812	61,2970	66,6727
3 hr	X3 = 46%	31,5891	37,8644	42,9755	49,4334	54,2242	58,9797
2 hr	X2 = 39%	26,7821	32,1024	36,4357	41,9109	45,9727	50,0045
1 hr	X1 = 30%	20,6016	24,6942	28,0275	32,2392	35,3636	38,4650

$$I = \frac{P[mm]}{t_{duración} [hr.]}$$

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el Periodo de Retorno					
Hr	min	2,33 años	5,00 años	10,00 años	25,00 años	50,00 años	100,00 años
24 hr	1440	2,8613	3,4297	3,8927	4,4777	4,9116	5,3424
18 hr	1080	3,4717	4,1614	4,7232	5,4329	5,9594	6,4821
12 hr	720	4,5781	5,4876	6,2283	7,1643	7,8586	8,5478
8 hr	480	5,8371	6,9967	7,9411	9,1344	10,0197	10,8984
6 hr	360	6,9816	8,3686	9,4982	10,9255	11,9843	13,0354
5 hr	300	7,8286	9,3838	10,6504	12,2509	13,4382	14,6167
4 hr	240	8,9274	10,7008	12,1452	13,9703	15,3242	16,6682
3 hr	180	10,5297	12,6215	14,3252	16,4778	18,0747	19,6599
2 hr	120	13,3910	16,0512	18,2179	20,9555	22,9864	25,0023
1 hr	60	20,6016	24,6942	28,0275	32,2392	35,3636	38,4650

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Periodo de retorno, Sg. Bernard es:

$$I = \frac{a * T^b}{t^c}$$

en la cual:

- I = Intensidad (mm/hr)
- t = Duración de la lluvia (min)
- T = Período de retorno (años)
- a,b,c = Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

$$d = a * T^b$$

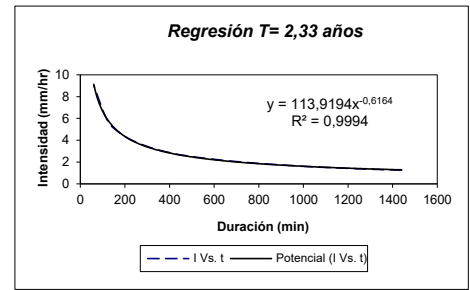
De donde:

$$I = \frac{d}{t^c} \Rightarrow I = d * t^{-c}$$

TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago K14+600 AL K14+800

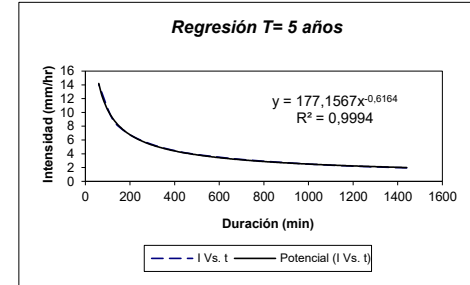
Periodo de retorno para T = 2,33 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	2,8613	7,2724	1,0513	7,6454	52,8878
2	1080	3,4717	6,9847	1,2447	8,6936	48,7863
3	720	4,5781	6,5793	1,5213	10,0090	43,2865
4	480	5,8371	6,1738	1,7642	10,8920	38,1156
5	360	6,9816	5,8861	1,9433	11,4384	34,6462
6	300	7,8286	5,7038	2,0578	11,7372	32,5331
7	240	8,9274	5,4806	2,1891	11,9978	30,0374
8	180	10,5297	5,1930	2,3542	12,2253	26,9668
9	120	13,3910	4,7875	2,5946	12,4216	22,9201
10	60	20,6016	4,0943	3,0254	12,3869	16,7637
10	4980	85,0082	58,1555	19,7458	109,4470	346,9435

Ln(A) = 5,5592 A = 259,6160 B = -0,6164



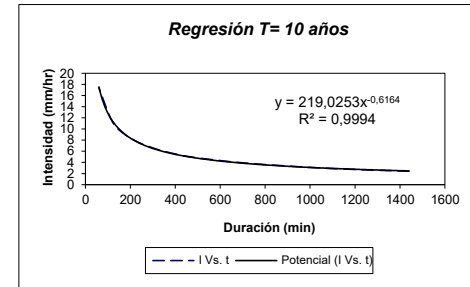
Periodo de retorno para T = 5 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	3,4297	7,2724	1,2325	8,9631	52,8878
2	1080	4,1614	6,9847	1,4259	9,9592	48,7863
3	720	5,4876	6,5793	1,7025	11,2011	43,2865
4	480	6,9967	6,1738	1,9454	12,0107	38,1156
5	360	8,3686	5,8861	2,1245	12,5049	34,6462
6	300	9,3838	5,7038	2,2390	12,7707	32,5331
7	240	10,7008	5,4806	2,3703	12,9909	30,0374
8	180	12,6215	5,1930	2,5354	13,1662	26,9668
9	120	16,0512	4,7875	2,7758	13,2890	22,9201
10	60	24,6942	4,0943	3,2066	13,1288	16,7637
10	4980	101,8954	58,1555	21,5578	119,9846	346,9435

Ln(A) = 5,7404 A = 311,1895 B = -0,6164



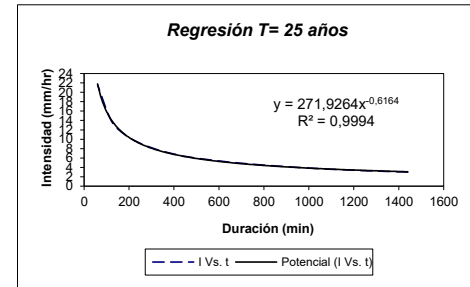
Periodo de retorno para T = 10 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	3,8927	7,2724	1,3591	9,8840	52,8878
2	1080	4,7232	6,9847	1,5525	10,8436	48,7863
3	720	6,2283	6,5793	1,8291	12,0342	43,2865
4	480	7,9411	6,1738	2,0721	12,7924	38,1156
5	360	9,4982	5,8861	2,2511	13,2502	34,6462
6	300	10,6504	5,7038	2,3656	13,4929	32,5331
7	240	12,1452	5,4806	2,4969	13,6848	30,0374
8	180	14,3252	5,1930	2,6620	13,8237	26,9668
9	120	18,2179	4,7875	2,9024	13,8952	22,9201
10	60	28,0275	4,0943	3,3332	13,6472	16,7637
10	4980	115,6497	58,1555	22,8240	127,3482	346,9435

Ln(A) = 5,8670 A = 353,1954 B = -0,6164



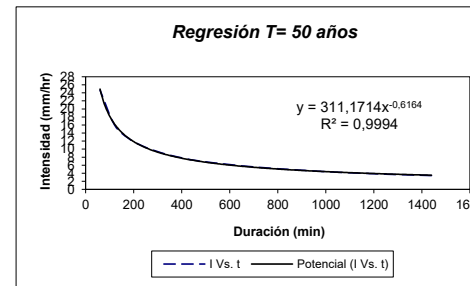
Periodo de retorno para T = 25 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	4,4777	7,2724	1,4991	10,9021	52,8878
2	1080	5,4329	6,9847	1,6925	11,8214	48,7863
3	720	7,1643	6,5793	1,9691	12,9552	43,2865
4	480	9,1344	6,1738	2,2121	13,6567	38,1156
5	360	10,9255	5,8861	2,3911	14,0743	34,6462
6	300	12,2509	5,7038	2,5056	14,2914	32,5331
7	240	13,9703	5,4806	2,6369	14,4521	30,0374
8	180	16,4778	5,1930	2,8020	14,5507	26,9668
9	120	20,9555	4,7875	3,0424	14,5655	22,9201
10	60	32,2392	4,0943	3,4732	14,2204	16,7637
10	4980	133,0283	58,1555	24,2240	135,4898	346,9435

Ln(A) = 6,0070 A = 406,2699 B = -0,6164



Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	4,9116	7,2724	1,5916	11,5748	52,8878
2	1080	5,9594	6,9847	1,7850	12,4675	48,7863
3	720	7,8586	6,5793	2,0616	13,5638	43,2865
4	480	10,0197	6,1738	2,3046	14,2278	38,1156
5	360	11,9843	5,8861	2,4836	14,6187	34,6462
6	300	13,4382	5,7038	2,5981	14,8190	32,5331
7	240	15,3242	5,4806	2,7294	14,9591	30,0374
8	180	18,0747	5,1930	2,8945	15,0311	26,9668
9	120	22,9864	4,7875	3,1349	15,0083	22,9201
10	60	35,3636	4,0943	3,5657	14,5991	16,7637
10	4980	145,9208	58,1555	25,1490	140,8693	346,9435

Ln(A) = 6,0995 A = 445,6436 B = -0,6164

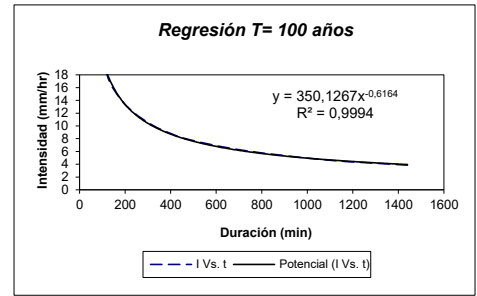


TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago K14+600 AL K14+800

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x * ln y	(lnx) ²
1	1440	5,3424	7,2724	1,6757	12,1861	52,8878
2	1080	6,4821	6,9847	1,8690	13,0547	48,7863
3	720	8,5478	6,5793	2,1457	14,1169	43,2865
4	480	10,8984	6,1738	2,3886	14,7468	38,1156
5	360	13,0354	5,8861	2,5677	15,1136	34,6462
6	300	14,6167	5,7038	2,6822	15,2985	32,5331
7	240	16,6682	5,4806	2,8135	15,4198	30,0374
8	180	19,6599	5,1930	2,9786	15,4676	26,9668
9	120	25,0023	4,7875	3,2190	15,4108	22,9201
10	60	38,4650	4,0943	3,6497	14,9433	16,7637
10	4980	158,7181	58,1555	25,9896	145,7581	346,9435

$Ln(A) = 6,1836 \quad A = 484,7266 \quad B = -0,6164$



Resumen de aplicación de regresión potencial

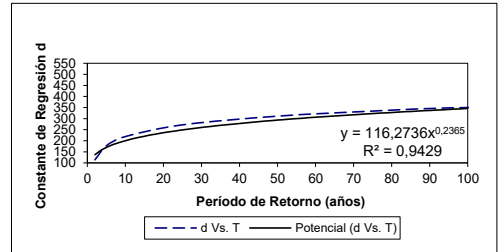
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2,33	259,61604865510	-0,6163860881
5	311,18954560449	-0,6163860881
10	353,19539777596	-0,6163860881
25	406,26990334996	-0,6163860881
50	445,64360350589	-0,6163860881
100	484,72657444038	-0,6163860881
Promedio =	376,77351222197	-0,6163860881

$d = a * T^b$

Regresión potencial

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x * ln y	(lnx) ²
1	2,33	259,6160	0,8459	5,5592	4,7024	0,7155
2	5	311,1895	1,6094	5,7404	9,2388	2,5903
3	10	353,1954	2,3026	5,8670	13,5093	5,3019
4	25	406,2699	3,2189	6,0070	19,3358	10,3612
5	50	445,6436	3,9120	6,0995	23,8615	15,3039
6	100	484,7266	4,6052	6,1836	28,4765	21,2076
6	192	2260,6411	16,4940	35,4567	99,1243	55,4804

$Ln(A) = 5,4610 \quad A = 235,3373 \quad B = 0,1631$



Termino constante de regresión (a) = 235,3373
Coef. de regresión (b) = 0,163128

Finalmente se tiene la ecuación de intensidad válida para la cuenca:

$$I = \frac{235,3373 * T^{0,163128}}{t^{0,61639}}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)
T = Periodo de Retorno (años)
t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

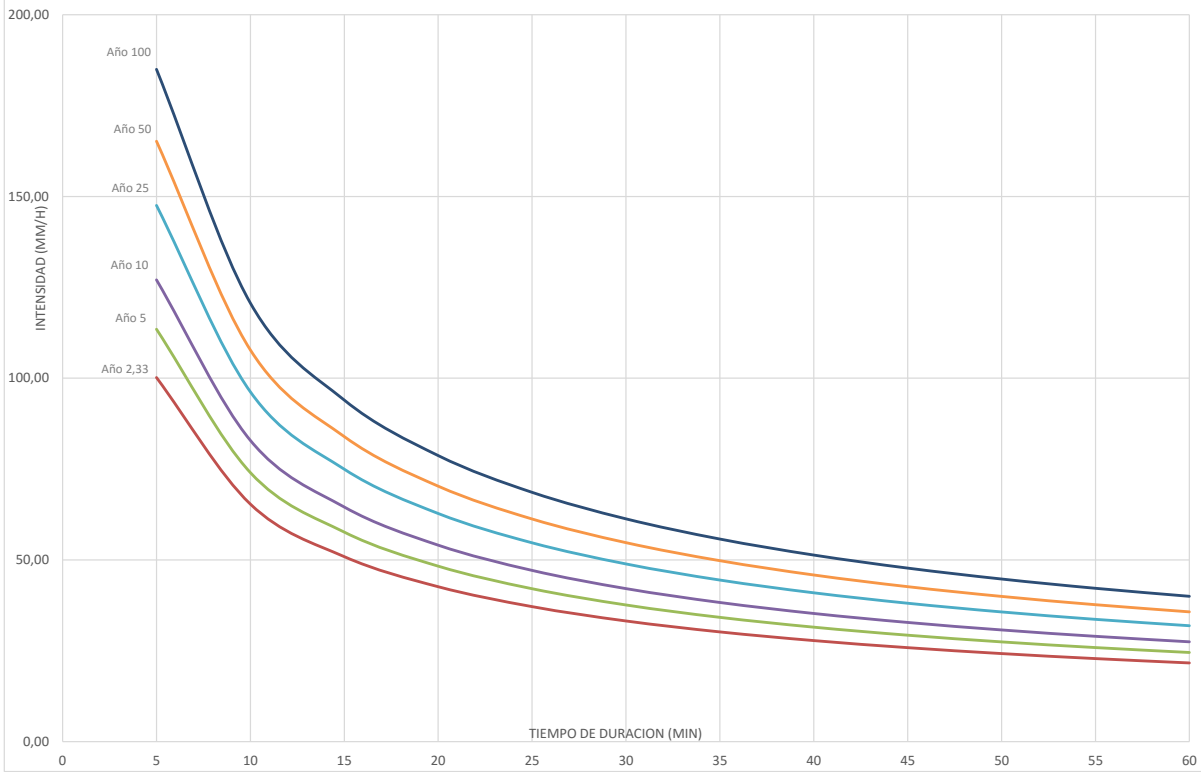
Frecuencia años	Duración en minutos					
	5	10	15	20	25	30
2,33	100,18	65,35	50,90	42,63	37,15	33,20
5	113,47	74,02	57,65	48,28	42,08	37,60
10	127,05	82,88	64,55	54,06	47,11	42,11
25	147,54	96,24	74,96	62,78	54,71	48,89
50	165,20	107,76	83,93	70,29	61,26	54,75
100	184,97	120,66	93,98	78,71	68,59	61,30

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno (continuación...)

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2,33	30,19	27,81	25,86	24,23	22,85	21,66
5	34,20	31,49	29,29	27,45	25,88	24,53
10	38,29	35,26	32,79	30,73	28,98	27,47
25	44,46	40,95	38,08	35,69	33,65	31,89
50	49,79	45,85	42,64	39,96	37,68	35,71
100	56	51,3405	47,7452	44,7431	42,1902	39,9871

TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago K14+600 AL K14+800

CURVA IDF
ESTACION: TULIO OSPINA 1950 - 2012



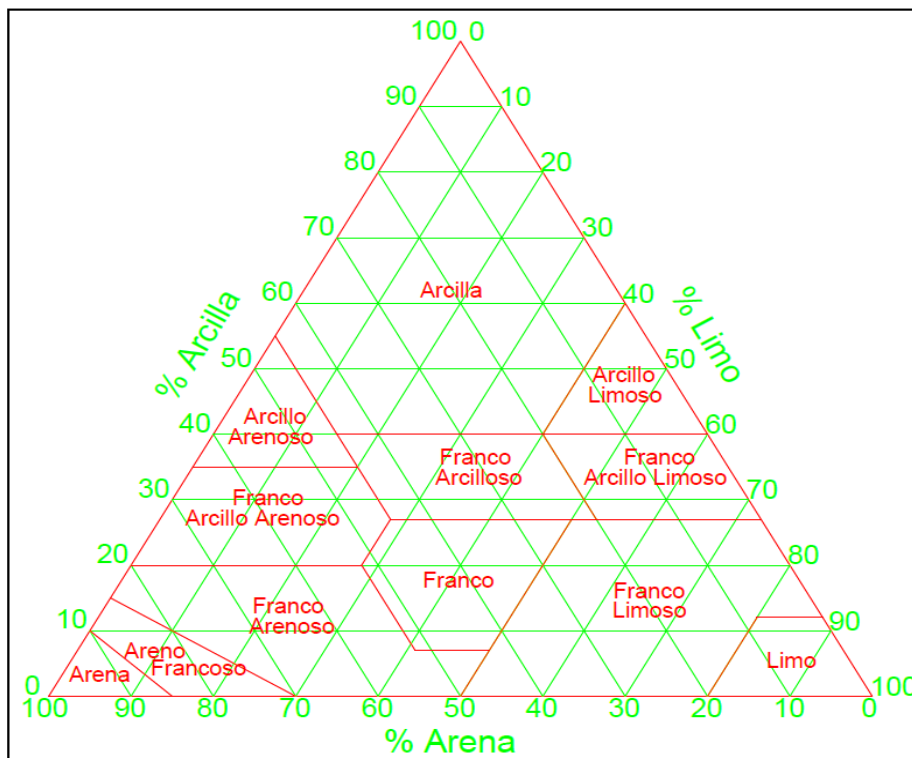
TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago K14+6675

1. Texturas y Parámetros Hidráulicos delos Suelos

A. Parámetros Hidráulicos de 12 texturas de Suelos para trabajar con Van Genuchten (1980) (Adoptado de Simunek, 2007)

	TEXTURA	θ_r cm ³ /cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	α 1/cm	k_s cm/día	n
1	Arena	0,045	0,430	0,145	712,80	2,68
2	Arena Francoso	0,057	0,410	0,124	350,20	2,28
3	Franco Arenoso	0,065	0,410	0,075	106,10	1,89
4	Franco	0,078	0,430	0,036	24,96	1,56
5	Limo	0,034	0,460	0,016	6,00	1,37
6	Franco Limoso	0,067	0,450	0,020	10,80	1,41
7	Franco Areno - Arcilloso	0,100	0,390	0,059	31,44	1,48
8	Franco Arcilloso	0,095	0,410	0,019	6,24	1,31
9	Franco Limo-Arcilloso	0,089	0,430	0,010	2,88	1,23
10	Arcilla Arenosa	0,100	0,380	0,027	2,88	1,23
11	Arcilla Limosa	0,070	0,360	0,005	0,48	1,09
12	Arcilla	0,068	0,380	0,008	4,80	1,09

B. Triangulo de Suelos de la USDA (EE UU) (Adoptado de Simunek, 2007 y USDA, 2007)



2. Texturas de los Materiales

Sondeo	Material	Profundidad Suelo		Descripción	Arena	Finos	LL	USCS	Textura
SM-13	1	0,00m	8,80m	Limo arenoso o arena limosa, de color café a gris verdoso, de plasticidad media a alta con presencia ocasional de clastos.	39,8 %	59,3 %	38,0 %	ML	Arcilla
SM-13	6	8,80m	21,80m	Arena limosa o limo arenoso de plasticidad media a baja, con presencia de clastos.	61,9 %	35,9 %	29,0 %	CL-ML	Franco Areno - Arcilloso
SM-13	2	21,80m	40,00m	Saprolito de color gris a café, soportado en matriz, arcillo arenosa, limo arenosa, con presencia de gravas.	59,2 %	40,8 %	26,0 %	SM	Franco Limoso
SM-13	3	40,00m		Roca anfibolita fracturada de color grisáceo.					

3. Parámetros Hidráulicos de los Materiales

Sondeo	Material	Textura	θ_r cm ³ /cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	α 1/cm	ks cm/día	n
SM-13	1	Arcilla	0,068	0,380	0,008	4,800	1,090
SM-13	6	Franco Areno - Arcilloso	0,100	0,390	0,059	31,440	1,480
SM-13	2	Franco Limoso	0,067	0,450	0,020	10,800	1,410
SM-13	3						

4. Definición de Tiempo de Concentración e Intensidad de las Lluvias.

Tiempo Retorno	Tiempo Precipitación	Intensidad Precipitación
2,33	60 min	21,66 mm/hr
5,00		24,53 mm/hr
10,00		27,47 mm/hr
25,00		31,89 mm/hr
50,00		35,71 mm/hr
100,00		39,99 mm/hr

D. Calculo de la profundidad del frente Húmedo (Zw)

$$I = \frac{(\theta_w - \theta_i)}{T} \left[Z_w - S \cdot \ln \left(\frac{S + Z_w}{S} \right) \right] \left(\frac{Z_w + S}{Z_w} \right)$$

Material 1 : Limo arenoso o Arena limosa

Tiempo Retorno	Material	Tiempo Precipitación	Intensidad Precipitación	θ_r cm ³ /cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	Succión S	Zw
2,33	1	1,0 hr	21,66 mm/hr	0,068	0,380	18307,45 mm de Agua	0,138 m
5,00			24,53 mm/hr				0,157 m
10,00			27,47 mm/hr				0,176 m
25,00			31,89 mm/hr				0,204 m
50,00			35,71 mm/hr				0,228 m
100,00			39,99 mm/hr				0,255 m

TESIS	Metodología para la evaluación cuantitativa del riesgo por rotura en línea de hidrocarburos debido a deslizamientos
SITIO DE ESTUDIO	Oleoducto Medellín Cartago KI4+6675

5. Calculo de Probabilidad de Ocurrencia

$$P_e = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Tiempo Retorno	Tiempo Precipitación	Intensidad Precipitación	Zw	Periodo de Diseño	Probabilidad de ocurrencia
2,33	60 min	21,66 mm/hr	0,138 m	50 años	1,000
5,00		24,53 mm/hr	0,157 m	50 años	1,000
10,00		27,47 mm/hr	0,176 m	50 años	0,995
25,00		31,89 mm/hr	0,204 m	50 años	0,870
50,00		35,71 mm/hr	0,228 m	50 años	0,636
100,00		39,99 mm/hr	0,255 m	50 años	0,395