

ANEXOS I
ENSAYOS DE
LABORATORIO

ENSAYOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA

Proyecto: Proyecto de Ingeniería Civil	Laboratorista: Tec. Fernando Colque M.
Procedencia: Santa Ana-Piedra larga	Identificación: 30 muestras
Solicitante: Vargas García Evelin Rosalba	Fecha: 04 /12/2019

TESTIGO Nº	FECHA DE ROTURA	PESO (kg)	a (mm)	b (mm)	c (mm)
1	04/07/2019	4.20	90.00	90.00	190.00
2	24/06/2019	4.21	80.00	80.00	190.00
3	16/07/2019	1.78	80.00	60.50	130.50
4	24/06/2019	3.79	85.00	90.00	180.00
5	11/07/2019	3.73	90.50	80.00	180.00
6	24/06/2019	5.98	95.00	95.00	200.00
7	11/07/2019	5.80	110.00	130.00	170.00
8	11/07/2019	3.32	80.50	90.00	180.00
9	04/07/2019	5.28	100.00	100.00	220.00
10	04/07/2019	2.87	95.00	95.00	200.00

Evelin Rosalba Vargas García

UNIVERSITARIA

Ing. Moisés Días Ayarde

RESP. LAB. TECNOLOGIA DEL HORMIGON



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAE SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA

Proyecto: Proyecto de Ingeniería Civil	Laboratorista: Tec. Fernando Colque M.
Procedencia: Santa Ana-Piedra larga	Identificación: 30 muestras
Solicitante: Vargas García Evelin Rosalba	Fecha: 04 /12/2019

TESTIGO Nº	FECHA DE ROTURA	PESO (kg)	a (mm)	b (mm)	c (mm)
11	11/07/2019	1.59	70.00	70.00	140.00
12	04/07/2019	1.58	100.00	100.00	200.00
13	24/06/2019	4.76	100.00	100.00	220.00
14	04/07/2019	3.62	70.00	60.00	130.00
15	16/07/2019	1.95	60.00	80.00	160.00
16	04/07/2019	6.03	100.00	100.00	210.00
17	09/07/2019	4.82	90.50	90.50	190.00
18	09/07/2019	4.56	100.00	100.00	190.00
19	11/07/2019	5.26	80.00	80.00	180.00
20	11/07/2019	3.25	90.00	90.00	200.00

Evelin Rosalba Vargas García

UNIVERSITARIA

Ing. Moisés Días Ayarde

RESP. LAB. TECNOLOGIA DEL HORMIGON



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA

Proyecto: Proyecto de Ingeniería Civil	Laboratorista: Tec. Fernando Colque M.
Procedencia: Santa Ana-Piedra larga	Identificación: 30 muestras
Solicitante: Vargas García Evelin Rosalba	Fecha: 04 /12/2019

TESTIGO Nº	FECHA DE ROTURA	PESO (kg)	a (mm)	b (mm)	c (mm)
21	04/07/2019	4.08	90.00	90.00	190.00
22	09/07/2019	6.04	100.00	100.00	220.00
23	16/07/2019	2.09	80.00	80.00	130.50
24	11/07/2019	4.03	90.50	90.00	180.00
25	24/06/2019	5.95	95.00	95.00	200.00
26	16/07/2019	5.68	90.00	80.00	180.00
27	16/07/2019	3.68	65.00	70.00	150.00
28	16/07/2019	2.46	100.00	100.00	210.00
29	24/06/2019	1.75	90.00	90.00	180.00
30	24/06/2019	4.10	85.00	85.00	170.00

Evelin Rosalba Vargas García

UNIVERSITARIA

Ing. Moisés Días Ayarde

RESP. LAB. TECNOLOGIA DEL HORMIGON



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA

Proyecto: Proyecto de Ingeniería Civil	Laboratorista: Tec. Fernando Colque M.
Procedencia: Santa Ana-Piedra larga	Identificación: 30 muestras
Solicitante: Vargas García Evelin Rosalba	Fecha: 04 /12/2019

TESTIGO Nº	AREA (mm ²)	LECTURA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)
1	8100.00	173.80	21.42
2	6400.00	467.00	72.96
3	4840.00	96.50	19.92
4	7650.00	294.50	38.50
5	7240.00	161.90	22.35
6	9025.00	259.70	28.76
7	14300.00	223.80	15.45
8	7245.00	103.70	14.31
9	10000.00	264.60	26.45
10	9025.00	204.60	22.67

Evelin Rosalba Vargas García

UNIVERSITARIA

Ing. Moisés Días Ayarde

RESP. LAB. TECNOLOGIA DEL HORMIGON



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA

Proyecto: Proyecto de Ingeniería Civil	Laboratorista: Tec. Fernando Colque M.
Procedencia: Santa Ana-Piedra larga	Identificación: 30 muestras
Solicitante: Vargas García Evelin Rosalba	Fecha: 04 /12/2019

TESTIGO Nº	AREA (mm ²)	LECTURA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)
11	4900.00	51.00	10.40
12	10000.00	468.80	46.88
13	10000.00	249.20	24.92
14	4200.00	147.50	35.12
15	4800.00	144.80	30.17
16	10000.00	770.60	77.06
17	8190.25	260.70	31.82
18	10000.00	402.40	40.01
19	6400.00	414.80	64.81
20	8100.00	181.40	22.40

Evelin Rosalba Vargas García

UNIVERSITARIA

Ing. Moisés Días Ayarde

RESP. LAB. TECNOLOGIA DEL HORMIGON



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS DE ROCA

Proyecto: Proyecto de Ingeniería Civil	Laboratorista: Tec. Fernando Colque M.
Procedencia: Santa Ana-Piedra larga	Identificación: 30 muestras
Solicitante: Vargas García Evelin Rosalba	Fecha: 04 /12/2019

TESTIGO Nº	AREA (mm ²)	LECTURA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)
21	8100.00	265.30	32.75
22	10000.00	515.10	51.49
23	6400.00	182.20	28.48
24	8145.00	194.90	23.92
25	9025.00	227.90	25.25
26	7200.00	284.60	39.53
27	4550.00	196.80	43.25
28	10000.00	341.20	34.12
29	8100.00	217.90	26.90
30	7225.00	123.50	17.09

Evelin Rosalba Vargas García

UNIVERSITARIA

Ing. Moisés Días Ayarde

RESP. LAB. TECNOLOGIA DEL HORMIGON



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO

Proyecto: Proyecto de Ingeniería Civil	Laboratorista: Tec. Fernando Colque M.
Procedencia: Santa Ana-Piedra larga	Identificación: 30 muestras
Solicitante: Vargas García Evelin Rosalba	Fecha: 04 /12/2019

TESTIGO Nº	PESO SUPERFICIALMENTE SECO (gr)	PESO SUMERGIDO (gr)	PESO SECO (gr)
1	4005	2487	3960
2	2800	1740	2765
3	1360	829	1325
4	4005	2474	3854
5	2510	1568	2490
6	5600	3485	5535
7	4455	2737	4365
8	3190	1865	3060
9	2500	1537	2455
10	2960	1639	2910
11	1355	795	1285
12	4250	2764	4128
13	4470	2724	4350
14	3574	2286	3454
15	875	548	870

Evelin Rosalba Vargas García

UNIVERSITARIA

Ing. Moisés Días Ayarde

RESP. LAB. TECNOLOGIA DEL HORMIGON



UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO

Proyecto: Proyecto de Ingeniería Civil	Laboratorista: Tec. Fernando Colque M.
Procedencia: Santa Ana-Piedra larga	Identificación: 30 muestras
Solicitante: Vargas García Evelin Rosalba	Fecha: 04 /12/2019

TESTIGO Nº	PESO SUPERFICIALMENTE SECO (gr)	PESO SUMERGIDO (gr)	PESO SECO (gr)
16	5645	3544	5605
17	4015	2449	3940
18	4300	2641	4240
19	3200	2040	3150
20	2340	1437	2310
21	3890	2422	3850
22	5860	3648	5805
23	1815	1112	1775
24	3800	2370	3755
25	5590	3481	5530
26	3980	2015	3935
27	4100	2570	4050
28	3640	2210	3600
29	1975	1050	1950
30	4245	2578	4195

Evelin Rosalba Vargas García

UNIVERSITARIA

Ing. Moisés Días Ayarde

RESP. LAB. TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ANEXOS II

DATOS DE CAMPO

DATOS DE CAMPO

Talud	Progresiva		Altura (m)	Longitud (m)
	Inicial	Final		
Nº1	15+500	15+625	9.80	125.00
Nº2	15+980	16+062	11.70	82.00
Nº3	16+650	16+770	12.00	120.00
Nº4	16+700	16+820	17.30	120.00
Nº5	17+100	17+190	10.50	90.00
Nº6	17+420	17+532	10.30	112.00
Nº7	17+630	17+720	10.30	70.00
Nº8	17+640	17+740	11.40	100.00
Nº9	17+940	18+095	14.00	155.00
Nº10	18+320	18+422	9.80	102.00
Nº11	18+750	18+875	18.00	125.00
Nº12	18+860	18+912	15.00	52.00
Nº13	19+550	19+590	10.50	40.00
Nº14	19+960	20+070	17.30	110.00
Nº15	20+100	20+240	16.00	140.00
Nº16	24+310	24+392	10.30	82.00
Nº17	26+530	26+601	11.00	71.00
Nº18	26+880	27+060	11.50	180.00
Nº19	27+760	27+860	13.50	100.00
Nº20	28+470	28+647	18.00	177.00
Nº21	28+920	29+000.5	9.50	80.50
Nº22	30+000	30+163	10.10	163.00
Nº23	31+240	31+368	9.80	128.00
Nº24	31+250	31+364	10.40	114.00
Nº25	31+990	32+082	13.00	92.00
Nº26	34+230	34+350	33.00	120.00
Nº27	34+360	34+500	9.50	140.00
Nº28	35+200	35+372	10.15	172.00
Nº29	38+000	38+100	12.10	100.00
Nº30	38+800	38+915	15.00	115.00

Talud	Orientación del talud		Orientación de la junta	
	Rumbo (°)	Buzamiento (°)	Rumbo (°)	Buzamiento (°)
Nº1	42	88	37	88
Nº2	76	80	71	76
Nº3	45	84	47	84
Nº4	50	70	39	73
Nº5	30	85	35	87
Nº6	89	88	84	87
Nº7	87	85	89	86
Nº8	36	83	39	84
Nº9	42	76	50	76
Nº10	41	86	47	86
Nº11	80	80	87	85
Nº12	60	75	55	79
Nº13	30	80	32	84
Nº14	45	80	48	85
Nº15	66	75	60	76
Nº16	75	83	63	83
Nº17	80	86	84	86
Nº18	68	84	52	85
Nº19	80	85	73	90
Nº20	22	75	27	74
Nº21	36	85	31	82
Nº22	89	85	82	81
Nº23	39	86	37	86
Nº24	84	86	89	85
Nº25	58	83	65	80
Nº26	83	73	76	77
Nº27	43	87	38	85
Nº28	74	83	71	77
Nº29	81	85	76	78
Nº30	81	85	77	84

ANEXOS III
CÁLCULOS
COMPLEMENTARIOS

CALCULOS COMPLEMENTARIOS

Tramo de estudio 1 PROG.INICIAL: 15+500 PROG. FINAL: 15+625

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

$$\beta = 88.00 (^{\circ})$$

$$L = 125.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.59 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.88 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \qquad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \qquad \Psi = 1228.89 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2} \qquad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \qquad k_2 = 0.40$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \qquad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan\varphi - k_1 * \tan\varphi * \sec^2\alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado } \alpha = 56.89 (^{\circ}) = 56^{\circ}53'24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec\alpha) * \tan\varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.34$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\alpha} * \Psi * k$$

$$R = 758.43 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 56.48 (^{\circ}) = 56^{\circ}28'48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.16$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.25$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.12$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 79.18 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

$$\text{Barra } \varnothing 26 \quad \text{DY S 85/105} \quad 85/105 \text{ kgf/mm}^2$$

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

Resistencia unitaria = (85/105 Kgf/mm²)

$$85 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=5.79 \text{ (m) asumimos 5.50 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 5.50 (m) por 5.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

$$S = 5.50 \text{ (m)}$$

$$L = 125.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 0.78 = 1 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 21.73 = 22 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 22 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 21.42 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.14 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal)} = 1.6$

$$F_a = \text{Fuerza de tracción (tracción admisible)} = 271 \text{ (KN)}$$

$$\phi_p = \text{Diámetro de perforación (barreno)} = 0.065 \text{ (m)}$$

$$\tau_w = \text{Resistencia a compresión} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\Gamma_v = \text{Factor de minoración para anclajes permanentes} = 1.4$$

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 5.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 5.79 \text{ (m) asumimos } 5.50 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 88.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 56.89 (^{\circ}) = 56^{\circ}53'24''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.69 = 5.00 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.67 = 8.00 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

Tramo de estudio 2 PROG.INICIAL: 15+980 PROG. FINAL: 16+060

$$H = 11.70 \text{ (m)}$$

$$\beta = 80.00 (^{\circ})$$

$$L = 82.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.97 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 26.29 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1777.36 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.29$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 53.87 (^{\circ}) = 53^{\circ} 52' 12''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.33$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 983.93 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 53.44 (^{\circ}) = 53^{\circ}26'24''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.17$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.18$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.14$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 114.03 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=5.31 \text{ (m) asumimos 5.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 5.00 (m) por 5.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 11.70 \text{ (m)}$$

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$L = 82.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 1.34 = 2 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 15.40 = 16 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 16 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 43.25 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 4.33 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 5.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 5.23 \text{ (m) asumimos } 5.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 80.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 53.87 (^{\circ}) = 53^{\circ} 52' 12''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 11.70 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen} \beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.37 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 7.34 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 10.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación OP=2S= 10.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 9.85 \text{ (m) asumimos } 10.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 80.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 53.87 \text{ (}^\circ\text{)} = 53^{\circ}52'12''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 11.70 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 6.98 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 9.95 \text{ (m)} \quad \text{Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 3 PROG.INICIAL: 16+650 PROG. FINAL: 16+770

$$H = 12.00 \text{ (m)}$$

$$\beta = 84.00 (^{\circ})$$

$$L = 120.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 24.48 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.13 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 37 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1762.47 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.34$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 56.34 (^{\circ}) = 56^{\circ} 20' 24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.38$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 988.50 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 55.87^\circ = 55^\circ 52' 12''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5^\circ$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.12$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = (FS)_0 \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan \varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.21$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.10$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 83.06 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=6.27 \text{ (m) asumimos 6.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 6.00 (m) por 6.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 12.00 \text{ (m)}$$

$$S = 6.00 \text{ (m)}$$

$$L = 120.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 1.00 = 1 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 19.00 = 19 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 19 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 26.46 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.65 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo

de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 6.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 6.24 \text{ (m) asumimos } 6.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 84.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 56.34 (^{\circ}) = 56^{\circ}20'24''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 12.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.99 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.96 \text{ (m)}$$

Primera hilera

Tramo de estudio 4

PROG.INICIAL: 16+700

PROG. FINAL: 16+820

$$H = 17.30 \text{ (m)}$$

$$\beta = 70.00 (^{\circ})$$

$$L = 120.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 24.69 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.66 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \phi = 33 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 3695.45 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{c * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.22$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 47.64 (^{\circ}) = 47^{\circ}38'24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.37$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 2024.35 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_o = 47.23 (^{\circ}) = 47^{\circ}13'48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_o = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.13$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \sin(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.07$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = 0.12$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_o=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \sin(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 176.14 \text{ (KN/m)} \text{ Cálculo de la separación entre anclajes de barras}$$

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=5.32 \text{ (m) asumimos } 5.00 \text{ (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 5.00 (m) por 5.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 17.30 \text{ (m)}$$

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$L = 120.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 2.46 = 3 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 23.00 = 23 \text{ Columnas}$$

Se requiere 3 filas y 23 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 38.50 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 3.85 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00$ = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 5.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 5.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 70.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 47.64 (^{\circ}) = 47^{\circ}38'24''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 17.30 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.14 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 8.11 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 10.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 10.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 10.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 70.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 47.64 (^{\circ}) = 47^{\circ}38'24''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 17.30 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 7.69 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 10.66 \text{ (m)} \text{ Segunda hilera}$$

Para simplificar el cálculo de las demás hileras se empleara una tabla y se redondea a enteros por constructividad.

Tramo de estudio 5 PROG.INICIAL: 17+100 PROG. FINAL: 17+190

$$H = 10.50 \text{ (m)}$$

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$L = 90.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$\gamma = 24.92 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_{sat} = 25.44 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 \text{ (}^\circ\text{)}$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1373.97 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \sen \beta \quad k_2 = 0.38$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sen(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sen^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 54.71 \text{ (}^\circ\text{)} = 54^\circ 42' 36''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS=1.38$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta * \sin \alpha} * \Psi * k$$

$$R= 852.27 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 54.30 (^{\circ}) = 54^{\circ}18'00''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.12$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = (FS)_0 \cos(\alpha - \Delta) + \sin(\alpha - \Delta) * \tan \varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = 1.21$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.10$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 66.66 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

Fro= (Área de la barra *Resistencia unitaria)

Resistencia unitaria = (85/105 Kgf/mm²)

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{ro} = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=6.55 \text{ (m) asumimos 6.50 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 6.50 (m) por 6.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 10.50 \text{ (m)}$$

$$S = 6.50 \text{ (m)}$$

$$L = 90.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 0.62 = 1 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 12.85 = 13 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 13 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

σ_c = Resistencia a la compresión de la roca = 15.45 (Mpa)

f'_c = Resistencia a la compresión de la lechada de cemento = 1 (Mpa)

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 1.55 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

Γ_q = 1.40 a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 6.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 6.52 \text{ (m) asumimos 6.50 (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$\beta = 85.00$ (°)

$\alpha = 54.71$ (°) = $54^{\circ}42'36''$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 10.50 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.39 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 8.36 \text{ (m)}$$

Primera hilera

Tramo de estudio 6

PROG.INICIAL: 17+420

PROG. FINAL: 17+532

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

$$\beta = 88.00 (^{\circ})$$

$$L = 112.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 24.68 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.15 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2}(H^2 - H_1^2)\gamma + q * H \quad \Psi = 1309.24 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \sin \beta \quad k_2 = 0.35$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sin(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sin^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 58.42 \text{ (}^\circ\text{)} = 58^\circ 25' 12''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.27$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta * \sin \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 759.15 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_o = 57.98 (^\circ) = 57^\circ 58' 48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_o = -5(^\circ)$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.23$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.27$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.18$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_o=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 116.72 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=4.89 \text{ (m) asumimos 4.50 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 4.50 (m) por 4.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

$$S = 4.50 \text{ (m)}$$

$$L = 112.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 1.29 = 2 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 23.89 = 24 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 24 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 31.82 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 3.18 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00$ = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

Fa = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 4.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 4.89 \text{ (m) asumimos 4.50 (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 88.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 58.42 (^{\circ}) = 58^{\circ}25'12''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.03 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.00 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 4.50 \text{ (m)}$$

$$2S = 9.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 9.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 8.99 \text{ (m)} \text{ asumimos } 9.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 88.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 58.42 (^{\circ}) = 58^{\circ}25'12''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 6.52 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 9.49 \text{ (m)} \quad \text{Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 7 PROG.INICIAL: 17+630 PROG. FINAL: 17+720

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$L = 70.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.93 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 26.14 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 \text{ (}^0\text{)}$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1375.50 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.37$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 55.21 \text{ (}^0\text{)} = 55^0 12' 36''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS=1.37$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta-\alpha)}{\sin\beta\sin\alpha} * \Psi * k$$

$$R= 835.15 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0= 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 54.81 (^{\circ}) = 54^{\circ}48'36''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.13$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = (FS)_0 \cos(\alpha - \Delta) + \sin(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = 1.22$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = 0.11$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \sin(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 75.83 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=6.08 \text{ (m) asumimos 6.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 4.00 (m) por 4.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

$$S = 6.00 \text{ (m)}$$

$$L = 70.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 0.72 = 1 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 10.67 = 11 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 11 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 22.35 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.24 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 6.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 6.06 \text{ (m) asumimos } 6.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 55.21 (^{\circ}) = 55^{\circ}12'36''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.99 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.96 \text{ (m)}$$

Primera hilera

Tramo de estudio 8

PROG.INICIAL: 17+640

PROG. FINAL: 17+740

$$H = 11.40 \text{ (m)}$$

$$\beta = 83.00 (^{\circ})$$

$$L = 100.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.07 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.43 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2}$$

$$k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1629.18 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{c * H}{\Psi * k} * \sin \beta \quad k_2 = 0.31$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sin(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sin^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 55.63 \text{ } (^{\circ}) = 55^{\circ} 37' 48''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.30$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta * \sin \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 914.11 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 55.20 (^{\circ}) = 55^{\circ}12'00''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.20$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.21$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.16$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 123.03 \text{ (KN/m)}$$

3.8.2 Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=5.03 \text{ (m) asumimos 5.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 5.00 (m) por 5.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 11.40 \text{ (m)}$$

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$L = 100.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 1.28 = 2 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 19.00 = 19 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 19 columnas de anclaje para estabilizar el sector

3.8.3 Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 40.01 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 4.00 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00$ = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

Fa = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 5.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 4.99 \text{ (m) asumimos 5.00 (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 83.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 55.63 (^{\circ}) = 55^{\circ}37'48''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 11.40 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right) \\ L_L = 4.37 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.34 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 10.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 10.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 9.98 \text{ (m) asumimos } 10.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 83.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 55.63 \text{ (}^\circ\text{)} = 55^\circ 37' 48''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 11.40 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 7.02 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 10.00 \text{ (m) Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 9 PROG.INICIAL: 17+940 PROG. FINAL: 18+095

$$H = 14.00 \text{ (m)}$$

$$\beta = 76.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$L = 155.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 26.64 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 27.06 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 30 \text{ (}^0\text{)}$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 2610.64 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.26$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 50.32 \text{ (}^0\text{)} = 50^0 19' 12''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS=1.26$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta-\alpha)}{\text{sen}\beta*\text{sen}\alpha} * \Psi * k$$

$$R= 1515.07 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0= 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 49.95 (^{\circ}) = 49^{\circ}57'00''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.24$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = (FS)_0 \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = 1.15$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = 0.21$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0 = 1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \sin(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 244.20 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al } 0.1 \% \text{ de deformación})$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=4.00 \text{ (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 4.00 (m) por 4.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 14.00 \text{ (m)}$$

$$S = 4.00 \text{ (m)}$$

$$L = 155.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 2.50 = 3 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 37.74 = 38 \text{ Columnas}$$

Se requiere 3 filas y 38 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 64.81 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 6.48 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 4.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 3.88 \text{ (m) asumimos } 4.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 76.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 50.32 (^{\circ}) = 50^{\circ}19'12''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 14.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.27 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.24 \text{ (m)}$$

Primera hilera

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 4.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 8.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 8.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta$$

$$h = 7.77 \text{ (m) asumimos } 8.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 76.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 50.32 \text{ (}^\circ\text{)} = 50^{\circ}19'12''$$

$$L_S = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 14.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 6.45 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 9.42 \text{ (m)} \quad \text{Segunda hilera}$$

Para simplificar el cálculo de las demás hileras se empleara una tabla y se redondea a enteros por constructividad.

Tramo de estudio 10 PROG.INICIAL: 18+320 PROG. FINAL: 18+422

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

$$\beta = 86.00 (^{\circ})$$

$$L = 102.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 22.66 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 23.62 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2}(H^2 - H_1^2)\gamma + q * H \quad \Psi = 1087.92 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{c * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.40$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 55.34 \text{ } (^{\circ}) = 55^{\circ}20'24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.41$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 676.11 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 54.93 (^{\circ}) = 54^{\circ}55'48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.09$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.22$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.07$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 39.66 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=8.19 \text{ (m) asumimos 8.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 8.00 (m) por 8.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

$$S = 8.00 \text{ (m)}$$

$$L = 102.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 0.23 = 1 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 11.75 = 12 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 12 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 14.31 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 1.43 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 8.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 8.17 \text{ (m) asumimos } 8.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 86.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 55.34 (^{\circ}) = 55^{\circ}20'24''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen} \beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 6.18 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 9.15 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

Tramo de estudio 12

PROG.INICIAL: 18+860

PROG. FINAL: 18+912

$$H = 15.00 \text{ (m)}$$

$$\beta = 75.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$L = 52.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.67 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.97 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 \text{ (}^\circ\text{)}$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2}$$

$$k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H$$

$$\Psi = 2888.21 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2}$$

$$\Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta$$

$$k_2 = 0.25$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)}$$

$$\varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sin(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sin^2(\beta - \alpha)} + \tan\varphi - k_1 * \tan\varphi * \sec^2\alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado } \alpha = 51.12 (^{\circ}) = 51^{\circ}7'12''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec\alpha) * \tan\varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.36$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta * \sin\alpha} * \Psi * k$$

$$R = 1554.98 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

3.8 Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

3.8.1 Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 50.68 (^{\circ}) = 50^{\circ}40'48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.14$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.12$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.12$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_o=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 311.73 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

$$\text{Barra } \varnothing 26 \quad \text{DY S 85/105} \quad 85/105 \text{ kgf/mm}^2$$

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=5.28 \text{ (m) asumimos } 5.00 \text{ (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 5.00 (m) por 5.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 15.00 \text{ (m)}$$

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$L = 52.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 2.00 = 2 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 9.40 = 10 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 10 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 28.76 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.88 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal)} = 1.6$

$F_a = \text{Fuerza de tracción (tracción admisible)} = 271 \text{ (KN)}$

$\phi_p = \text{Diámetro de perforación (barreno)} = 0.065 \text{ (m)}$

$\tau_w = \text{Resistencia a compresión} = 1 \text{ (Mpa)}$

$\Gamma_v = \text{Factor de minoración para anclajes permanentes} = 1.4$

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 5.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 5.10 \text{ (m) asumimos } 5.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 75.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 51.12 (^{\circ}) = 51^{\circ}7'12''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 15.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.77 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.75 \text{ (m)}$$

Primera hilera

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 10.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 10.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta$$

$$h = 9.66 \text{ (m) asumimos } 10.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 75.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 51.12 (^{\circ}) = 51^{\circ}7'12''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 15.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 7.30 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 10.27 \text{ (m)} \text{ Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 13 PROG.INICIAL: 19+550 PROG. FINAL: 19+590

$$H = 10.50 \text{ (m)}$$

$$\beta = 80.00 (^{\circ})$$

$$L = 40.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 27.25 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 28.06 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2}(H^2 - H_1^2)\gamma + q * H \quad \Psi = 1502.24 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.31$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan\varphi - k_1 * \tan\varphi * \sec^2\alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 53.44 \text{ (}^\circ\text{)} = 53^\circ 26' 24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan\varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.38$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}\beta * \text{sen}\alpha} * \Psi * k$$

$$R = 849.17 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 53.00 (^{\circ}) = 53^{\circ}00'00''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.12$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.17$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.10$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 69.17 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=6.46 \text{ (m) asumimos 6.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 6.00 (m) por 6.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 10.50 \text{ (m)}$$

$$S = .00 \text{ (m)}$$

$$L = 40.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 0.75 = 1 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 5.67 = 6 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 6 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 46.88 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 4.69 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 6.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 6.37 \text{ (m) asumimos } 6.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 80.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 53.44 \text{ (}^\circ\text{)} = 53^\circ 26' 24''$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 10.50 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen} \beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.77 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 7.74 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

Tramo de estudio 14

PROG.INICIAL: 19+960

PROG. FINAL: 20+070

$$H = 17.30 \text{ (m)}$$

$$\beta = 80.00 (^{\circ})$$

$$L = 110.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 22.51 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 23.74 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 37 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2}$$

$$k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H$$

$$\Psi = 3368.51 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2}$$

$$\Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta$$

$$k_2 = 0.25$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)}$$

$$\varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sin(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sin^2(\beta - \alpha)} + \tan\varphi - k_1 * \tan\varphi * \sec^2\alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado } \alpha = 55.46 (^{\circ}) = 55^{\circ}27'36''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan\varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.26$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta * \sin\alpha} * \Psi * k$$

$$R = 1724.23 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 55.00 (^{\circ}) = 55^{\circ}0'0''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.24$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.19$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.20$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 288.61 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

$$\text{Barra } \varnothing 26 \quad \text{DY S 85/105} \quad 85/105 \text{ kgf/mm}^2$$

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=4.06 \text{ (m) asumimos 4.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 4.00 (m) por 4.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 17.30 \text{ (m)}$$

$$S = 4.00 \text{ (m)}$$

$$L = 110.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 3.33 = 4 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 26.50 = 27 \text{ Columnas}$$

Se requiere 4 filas y 27 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 10.41 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 1.04 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal)} = 1.6$

$F_a = \text{Fuerza de tracción (tracción admisible)} = 271 \text{ (KN)}$

$\phi_p = \text{Diámetro de perforación (barreno)} = 0.065 \text{ (m)}$

$\tau_w = \text{Resistencia a compresión} = 1 \text{ (Mpa)}$

$\Gamma_v = \text{Factor de minoración para anclajes permanentes} = 1.4$

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 4.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 4.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 80.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 55.46 (^{\circ}) = 55^{\circ}27'36''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 17.30 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.53 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.51 \text{ (m)}$$

Primera hilera

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 4.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 8.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 8.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta$$

$$h = 7.88 \text{ (m) asumimos } 8.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 80.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 55.46 (^{\circ}) = 55^{\circ}27'36''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 17.30 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 6.47 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 9.44 \text{ (m)} \quad \text{Segunda hilera}$$

Para simplificar el cálculo de las demás hileras se empleara una tabla y se redondea enteros por constructividad.

Tramo de estudio 15 PROG.INICIAL: 20+100 PROG. FINAL: 20+240

$$H = 16.00 \text{ (m)}$$

$$\beta = 75.00 (^{\circ})$$

$$L = 140.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 21.61 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 21.98 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 2766.11 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.28$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 49.88 (^{\circ}) = 49^{\circ} 52' 48''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.41$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 1589.39 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 49.48 (^{\circ}) = 49^{\circ}28'48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.09$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.11$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.08$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 100.82 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=6.67 \text{ (m) asumimos 6.50 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 6.50 (m) por 6.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 16.00 \text{ (m)}$$

$$S = 6.50 \text{ (m)}$$

$$L = 140.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 1.46 = 2 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 20.54 = 21 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 21 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 22.67 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.27 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 6.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 6.45 \text{ (m) asumimos } 6.50 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 75.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 49.88 (^{\circ}) = 49^{\circ} 52' 48''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 16.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen} \beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.86 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 8.83 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 6.50 \text{ (m)}$$

$$2S = 13.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 13.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 12.89 \text{ (m) asumimos } 13.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 75.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 49.88 \text{ (}^\circ\text{)} = 49^\circ 52' 48''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 16.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 9.32 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 12.30 \text{ (m) Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 16 PROG.INICIAL: 24+310 PROG. FINAL: 24+392

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

$$\beta = 83.00 (^{\circ})$$

$$L = 82.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 26.31 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 27.22 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1395.47 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.33$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 54.47 (^{\circ}) = 54^{\circ} 28' 12''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.35$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 825.03 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

3.8 Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

3.8.1 Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 54.04 (^{\circ}) = 54^{\circ} 2' 24''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.15$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = (FS)_0 \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan \varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.19$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.13$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 85.84 \text{ (KN/m)}$$

3.8.2 Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=5.72 \text{ (m) asumimos 5.50 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 5.50 (m) por 5.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

$$S = 5.50 \text{ (m)}$$

$$L = 82.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 0.87 = 1 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 13.91 = 14 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 14 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 35.12 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 3.51 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal)} = 1.6$

$$F_a = \text{Fuerza de tracción (tracción admisible)} = 271 \text{ (KN)}$$

$$\phi_p = \text{Diámetro de perforación (barreno)} = 0.065 \text{ (m)}$$

$$\tau_w = \text{Resistencia a compresión} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\Gamma_v = \text{Factor de minoración para anclajes permanentes} = 1.4$$

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 5.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 5.68 \text{ (m) asumimos } 5.50 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 83.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 54.47 (^{\circ}) = 54^{\circ}28'12''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 10.30 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.62 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.59 \text{ (m)}$$

Primera hilera

Tramo de estudio 17 PROG.INICIAL: 26+530

PROG. FINAL: 26+601

$$H = 11.00 \text{ (m)}$$

$$\beta = 86.00 (^{\circ})$$

$$L = 71.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 26.10 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 26.25 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1579.05 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.31$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 57.90 (^{\circ}) = 57^{\circ} 54' 00''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.22$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 880.30 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 57.46 (^{\circ}) = 57^{\circ}27'36''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.28$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.26$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.22$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 164.59 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=4.26 \text{ (m) asumimos 4.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 4.00 (m) por 4.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 11.00 \text{ (m)}$$

$$S = 4.00 \text{ (m)}$$

$$L = 71.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 1.75 = 2 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 16.75 = 17 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 17 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 30.17 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 3.02 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 4.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 4.25 \text{ (m) asumimos } 4.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 86.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 57.90 \text{ (}^\circ\text{)} = 57^\circ 54' 00''$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 11.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen} \beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 3.77 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 6.74 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 4.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 8.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 8.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 7.98 \text{ (m) asumimos } 8.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 86.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 57.90 \text{ (}^\circ\text{)} = 57^{\circ}54'00''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 11.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.89 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 8.87 \text{ (m)} \quad \text{Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 18 PROG.INICIAL: 26+880 PROG. FINAL: 27+060

$$H = 11.50 \text{ (m)}$$

$$\beta = 84.00 (^{\circ})$$

$$L = 180.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 26.17 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 26.36 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 34 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1730.55 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.33$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 55.68 (^{\circ}) = 55^{\circ}40'48''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.30$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 999.55 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 55.26 (^{\circ}) = 55^{\circ} 15' 36''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.20$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = (FS)_0 \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan \varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.22$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.16$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 132.73 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=4.86 \text{ (m) asumimos 5.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 5.00 (m) por 5.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 11.50 \text{ (m)}$$

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$L = 180.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 1.30 = 2 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 35.00 = 35 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 35 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 77.06 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 7.71 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo

de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 5.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 4.83 \text{ (m) asumimos } 5.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 84.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 55.68 (^{\circ}) = 55^{\circ}40'48''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 11.50 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.46 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.43 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 5.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 10.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 10.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 9.95 \text{ (m)} \text{ asumimos } 10.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 84.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 55.68 (^{\circ}) = 55^{\circ}40'48''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 11.50 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 7.20 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 10.17 \text{ (m)} \text{ Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 19 PROG.INICIAL: 27+760 PROG. FINAL: 27+860

$$H = 13.50 \text{ (m)}$$

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$L = 100.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 24.44 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.11 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2}(H^2 - H_1^2)\gamma + q * H \quad \Psi = 2227.16 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{c * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.30$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 56.83 \text{ } (^{\circ}) = 56^{\circ}49'48''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.19$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 1260.73 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

3.8 Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

3.8.1 Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 56.42 (^{\circ}) = 56^{\circ}25'12''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.31$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \sin(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.25$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = 0.25$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \sin(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 263.06 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=3.74 \text{ (m) asumimos 3.50 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 3.50 (m) por 3.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 13.50 \text{ (m)}$$

$$S = 3.50 \text{ (m)}$$

$$L = 100.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 2.86 = 3 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 27.57 = 28 \text{ Columnas}$$

Se requiere 3 filas y 28 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 24.92 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.49 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 3.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 3.72 \text{ (m) asumimos } 3.50 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 56.83 \text{ (}^\circ\text{)} = 56^\circ 49' 48''$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 13.50 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen} \beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 3.91 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 6.88 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 3.50 \text{ (m)}$$

$$2S = 7.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 7.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 6.97 \text{ (m) asumimos } 7.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 56.83 \text{ (}^\circ\text{)} = 55^{\circ}11'24''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 13.50 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.79 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 8.76 \text{ (m)} \quad \text{Segunda hilera}$$

Para simplificar el cálculo de las demás hileras se empleara una tabla y se redondea a enteros por constructividad.

Tramo de estudio 20 PROG.INICIAL: 28+470

PROG. FINAL: 28+647

$$H = 18.00 \text{ (m)}$$

$$\beta = 75.00 (^{\circ})$$

$$L = 177.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.10 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.42 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2}$$

$$k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H$$

$$\Psi = 4065.45 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2}$$

$$\Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta$$

$$k_2 = 0.21$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)}$$

$$\varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sin(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sin^2(\beta - \alpha)} + \tan\varphi - k_1 * \tan\varphi * \sec^2\alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado } \alpha = 51.70 (^{\circ}) = 51^{\circ}42'00''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan\varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.20$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta * \sin\alpha} * \Psi * k$$

$$R = 2121.89 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

3.8 Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

3.8.1 Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 51.29 (^{\circ}) = 51^{\circ}17'24''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.30$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.15$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.26$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_o=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 431.70 \text{ (KN/m)}$$

3.8.2 Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=3.42 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 3.00 (m) por 3.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 18.00 \text{ (m)}$$

$$S = 3.00 \text{ (m)}$$

$$L = 177.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 5.00 = 5 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 58.00 = 58 \text{ Columnas}$$

Se requiere 5 filas y 58 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 22.40 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.24 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal)} = 1.6$

$F_a = \text{Fuerza de tracción (tracción admisible)} = 271 \text{ (KN)}$

$\phi_p = \text{Diámetro de perforación (barreno)} = 0.065 \text{ (m)}$

$\tau_w = \text{Resistencia a compresión} = 1 \text{ (Mpa)}$

$\Gamma_v = \text{Factor de minoración para anclajes permanentes} = 1.4$

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 3.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 3.30 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 75.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 51.70 (^{\circ}) = 51^{\circ}42'00''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 18.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.17 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.14 \text{ (m)}$$

Primera hilera

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 3.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 6.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 7.97 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta$$

$$h = 5.80 \text{ (m) asumimos } 6.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 75.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 51.70 (^{\circ}) = 51^{\circ}42'00''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 18.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.64 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 8.61 \text{ (m)} \quad \text{Segunda hilera}$$

Para simplificar el cálculo de las demás hileras se empleara una tabla y se redondea enteros por constructividad.

Tramo de estudio 21 PROG.INICIAL: 28+920 PROG. FINAL: 29+000.5

$$H = 9.50 \text{ (m)}$$

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$L = 80.50 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.73 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 26.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1160.97 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.37$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 55.91 (^{\circ}) = 55^{\circ} 54' 36''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.38$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 684.09 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5$$

Ver tabla 2.19

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 55.48 (^{\circ}) = 55^{\circ}28'48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.12$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \sin(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.22$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \sin(\alpha + \varepsilon)} = 0.09$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \sin(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 53.62 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=6.94 \text{ (m) asumimos 6.50 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 6.50 (m) por 6.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 9.50 \text{ (m)}$$

$$S = 6.50 \text{ (m)}$$

$$L = 80.50 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 0.46 = 1 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 11.38 = 12 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 12 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 32.75 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 3.28 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 6.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 6.92 \text{ (m) asumimos } 6.50 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 55.91 \text{ (}^\circ\text{)} = 55^\circ 54' 36''$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 9.50 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen} \beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.05 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 8.03 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

Tramo de estudio 22 PROG.INICIAL: 30+000

PROG. FINAL: 30+163

$$H = 10.10 \text{ (m)}$$

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$L = 163.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 24.77 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.33 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2}$$

$$k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H$$

$$\Psi = 1263.35 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2}$$

$$\Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta$$

$$k_2 = 0.36$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)}$$

$$\varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sin(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sin^2(\beta - \alpha)} + \tan\varphi - k_1 * \tan\varphi * \sec^2\alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado } \alpha = 56.09 (^{\circ}) = 56^{\circ}5'24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec\alpha) * \tan\varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.36$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta * \sin\alpha} * \Psi * k$$

$$R = 738.73 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 55.65 (^{\circ}) = 55^{\circ}39'00''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.14$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.22$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.11$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 68.39 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

$$\text{Barra } \varnothing 26 \quad \text{DY S 85/105} \quad 85/105 \text{ kgf/mm}^2$$

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=6.34 \text{ (m) asumimos } 6.00 \text{ (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 6.00 (m) por 6.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 10.10 \text{ (m)}$$

$$S = 6.00 \text{ (m)}$$

$$L = 163.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 0.68 = 1 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 26.17 = 27 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 27 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 28.48 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.85 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal)} = 1.6$

$F_a = \text{Fuerza de tracción (tracción admisible)} = 271 \text{ (KN)}$

$\phi_p = \text{Diámetro de perforación (barreno)} = 0.065 \text{ (m)}$

$\tau_w = \text{Resistencia a compresión} = 1 \text{ (Mpa)}$

$\Gamma_v = \text{Factor de minoración para anclajes permanentes} = 1.4$

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 6.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 6.31 \text{ (m) asumimos } 6.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 56.09 (^{\circ}) = 56^{\circ}5'24''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 10.10 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.84 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.81 \text{ (m)}$$

Primera hilera

Tramo de estudio 23 PROG.INICIAL: 31+240 PROG. FINAL: 31+368

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

$$\beta = 86.00 (^{\circ})$$

$$L = 128.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.74 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 25.99 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 25 \text{ (}^0\text{)}$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1236.26 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.40$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 53.14 \text{ (}^0\text{)} = 53^0 8' 24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.26$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 840.32 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 52.84 (^{\circ}) = 52^{\circ}50'24''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.24$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.24$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.19$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 129.65 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=4.53 \text{ (m) asumimos 4.50 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 4.50 (m) por 4.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

$$S = 4.50 \text{ (m)}$$

$$L = 128.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 1.18 = 2 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 27.44 = 28 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 28 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 51.49 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 5.15 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo)}$

de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 4.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 4.52 \text{ (m) asumimos 4.50 (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 86.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 53.14 (^{\circ}) = 53^{\circ}8'24''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.35 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 7.32 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 4.50 \text{ (m)}$$

$$2S = 9.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación OP=2S= 9.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 8.98 \text{ (m) asumimos } 9.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 86.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 53.14 (^{\circ}) = 53^{\circ}8'24''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 9.80 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 7.23 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 10.21 \text{ (m) Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 24 PROG.INICIAL: 31+250 PROG. FINAL: 31+364

$$H = 10.80 \text{ (m)}$$

$$\beta = 86.00 (^{\circ})$$

$$L = 114.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 19.81 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 19.87 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 \text{ (}^\circ\text{)}$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{Y_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1155.32 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{Y_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.42$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 55.07 \text{ (}^\circ\text{)} = 55^\circ 4' 12''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS=1.45$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta * \sin \alpha} * \Psi * k$$

$$R= 726.19 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 54.66 (^{\circ}) = 54^{\circ}39'36''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.05$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = (FS)_0 \cos(\alpha - \Delta) + \sin(\alpha - \Delta) * \tan \varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_0) = 1.22$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.04$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 24.88 \text{ (KN/m)}$$

3.8.2 Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{ro} = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=10.86 \text{ (m) asumimos 10.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 10.00 (m) por 10.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 10.80 \text{ (m)}$$

$$S = 10.00 \text{ (m)}$$

$$L = 114.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 0.08 = 1 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 10.40 = 11 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 11 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 39.53 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 3.95 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40$ a 2.00 = Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo

de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 10.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 10.83 \text{ (m) asumimos } 10.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 86.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 55.07 \text{ (}^\circ\text{)} = 55^{\circ}4'12''$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 10.80 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 7.57 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 10.54 \text{ (m)}$$

Primera hilera

Tramo de estudio 25 PROG.INICIAL: 31+990 PROG. FINAL: 32+082

$$H = 13.00 \text{ (m)}$$

$$\beta = 83.00 (^{\circ})$$

$$L = 92.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 24.70 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 24.97 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2}(H^2 - H_1^2)\gamma + q * H \quad \Psi = 2086.85 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{c * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.28$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 56.51 \text{ } (^{\circ}) = 56^{\circ}30'36''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.21$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 1124.55 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 56.07 (^{\circ}) = 56^{\circ}4'12''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.29$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.23$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.23$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 220.40 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=4.01 \text{ (m) asumimos 4.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 4.00 (m) por 4.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 13.00 \text{ (m)}$$

$$S = 4.00 \text{ (m)}$$

$$L = 92.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 2.25 = 3 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 22.00 = 22 \text{ Columnas}$$

Se requiere 3 filas y 22 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 34.12 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 3.41 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo)}$

de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 4.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 3.98 \text{ (m) asumimos 4.00 (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 83.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 56.51 (^{\circ}) = 56^{\circ}30'36''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 13.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.00 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 6.97 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 4.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 8.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación OP=2S= 8.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 7.94 \text{ (m) asumimos } 8.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 83.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 56.51 \text{ (}^\circ\text{)} = 56^{\circ}30'36''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 13.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 6.04 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 9.01 \text{ (m) Segunda hilera}$$

Para simplificar el cálculo de las demás hileras se empleara una tabla y se redondea enteros por constructividad.

Tramo de estudio 27 PROG.INICIAL: 34+360 PROG. FINAL: 34+500

$$H = 9.50 \text{ (m)}$$

$$\beta = 87.00 (^{\circ})$$

$$L = 140.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.72 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 26.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2}$$

$$k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H$$

$$\Psi = 1160.74 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2}$$

$$\Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \sin \beta$$

$$k_2 = 0.37$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)}$$

$$\varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sin(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sin^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado } \alpha = 57.36 (^{\circ}) = 57^{\circ}21'36''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS=1.33$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R= 682.53 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

3.8 Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

3.8.1 Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 56.93 (^{\circ}) = 56^{\circ}55'48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.17$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.25$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.14$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_o=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 77.76 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

$$\text{Barra } \varnothing 26 \quad \text{DY S 85/105} \quad 85/105 \text{ kgf/mm}^2$$

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=5.76 \text{ (m) asumimos } 5.50 \text{ (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 5.50 (m) por 5.50 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 9.50 \text{ (m)}$$

$$S = 5.50 \text{ (m)}$$

$$L = 140.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 0.73 = 1 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 24.45 = 25 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 25 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 25.25 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.53 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal)} = 1.6$

$F_a = \text{Fuerza de tracción (tracción admisible)} = 271 \text{ (KN)}$

$\phi_p = \text{Diámetro de perforación (barreno)} = 0.065 \text{ (m)}$

$\tau_w = \text{Resistencia a compresión} = 1 \text{ (Mpa)}$

$\Gamma_v = \text{Factor de minoración para anclajes permanentes} = 1.4$

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 5.50 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 5.75 \text{ (m) asumimos } 5.50 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 87.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 57.36 (^{\circ}) = 57^{\circ}21'36''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 9.50 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 4.50 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 7.47 \text{ (m)}$$

Primera hilera

Tramo de estudio 28 PROG.INICIAL: 35+200 PROG. FINAL: 35+372

$$H = 10.15 \text{ (m)}$$

$$\beta = 83.00 (^{\circ})$$

$$L = 172.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 25.76 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 26.07 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 \text{ (}^0\text{)}$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2} (H^2 - H_1^2) \gamma + q * H \quad \Psi = 1326.92 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \text{sen } \beta \quad k_2 = 0.38$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \text{sen}(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\text{sen}^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 53.64 \text{ (}^0\text{)} = 53^0 38' 24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.44$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 813.84 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 53.23 (^{\circ}) = 53^{\circ}13'48''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.06$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.19$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.05$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 33.43 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra ø 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=9.10 \text{ (m) asumimos } 9.00 \text{ (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 9.00 (m) por 9.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 10.15 \text{ (m)}$$

$$S = 9.00 \text{ (m)}$$

$$L = 172.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 0.13 = 1 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 18.11 = 19 \text{ Columnas}$$

Se requiere 1 filas y 19 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 23.92 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.39 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo)}$

de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 9.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 9.04 \text{ (m) asumimos 9.00 (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 83.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 53.64 (^{\circ}) = 53^{\circ}38'24''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 10.15 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 6.73 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 9.70 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

Tramo de estudio 29 PROG.INICIAL: 38+000 PROG. FINAL: 38+100

$$H = 12.10 \text{ (m)}$$

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$L = 100.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 20.68 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 20.95 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 45 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 35 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2}(H^2 - H_1^2)\gamma + q * H \quad \Psi = 1513.92 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \sen \beta \quad k_2 = 0.36$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sen(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sen^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado } \alpha = 56.09 (^{\circ}) = 56^{\circ}5'24''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\text{sen}(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\text{sen}(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS=1.36$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen} \beta * \text{sen} \alpha} * \Psi * k$$

$$R= 885.17 \text{ (KN/m)}$$

$(FS)_0$, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0} \quad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan \varphi}{(FS)_0}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 55.66 (^{\circ}) = 55^{\circ}39'36''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_0 - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.14$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan \varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.22$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.11$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_o=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 82.09 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

$$\text{Barra } \varnothing 26 \quad \text{DY S 85/105} \quad 85/105 \text{ kgf/mm}^2$$

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kg/mm}^2)$$

$$85 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$105 \frac{Kgf}{mm^2} * 10 \frac{N}{Kgf} = 1050 \frac{N}{mm^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{N}{mm^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{N}{mm^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=6.33 \text{ (m) asumimos 6.00 (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 6.00 (m) por 6.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 12.10 \text{ (m)}$$

$$S = 6.00 \text{ (m)}$$

$$L = 100.00 \text{ (m)}$$

$$N^0 \text{ filas de anclaje} = 1.02 = 2 \text{ filas}$$

$$N^0 \text{ columnas de anclaje} = 15.67 = 16 \text{ Columnas}$$

Se requiere 2 filas y 16 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 26.90 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 2.69 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo de riesgo y si es temporal)} = 1.6$

$F_a = \text{Fuerza de tracción (tracción admisible)} = 271 \text{ (KN)}$

$\phi_p = \text{Diámetro de perforación (barreno)} = 0.065 \text{ (m)}$

$\tau_w = \text{Resistencia a compresión} = 1 \text{ (Mpa)}$

$\Gamma_v = \text{Factor de minoración para anclajes permanentes} = 1.4$

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 6.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen} \beta \quad h = 6.31 \text{ (m) asumimos } 6.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 56.09 (^{\circ}) = 56^{\circ}5'24''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 12.10 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.31 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 8.28 \text{ (m)}$$

Primera hilera

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 6.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 12.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación $OP=2S= 12.00 \text{ (m)}$ con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta$$

$$h = 12.62 \text{ (m) asumimos } 12.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 56.09 (^{\circ}) = 56^{\circ}5'24''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 12.10 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 8.81 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 11.78 \text{ (m)} \text{ Segunda hilera}$$

Tramo de estudio 30 PROG.INICIAL: 38+800 PROG. FINAL: 38+915

$$H = 15.00 \text{ (m)}$$

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$L = 115.00 \text{ (m)}$$

$$H_1 = 0.00 \text{ (m)}$$

Datos complementarios

$$Y = 24.69 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_{sat} = 24.98 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$Y_w = 10.00 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$K_h = 0.00$$

$$K_v = 0.00$$

$$q = 0.00 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$C = 50 \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \emptyset = 33 (^{\circ})$$

Utilizando la tabla 2.23 resulta:

$$k = (k_h^2 + (1 + k_v)^2)^{1/2} \quad k = 1.00$$

$$\Psi = \frac{\gamma_{sat}}{2} * H_1^2 + \frac{1}{2}(H^2 - H_1^2)\gamma + q * H \quad \Psi = 2777.27 \text{ (KN/m)}$$

$$\Psi_1 = \frac{\gamma_w * H_1^2}{2} \quad \Psi_1 = 0.00$$

$$k_2 = \frac{C * H}{\Psi * k} * \sin \beta \quad k_2 = 0.27$$

$$\tan \varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)} \quad \varepsilon = 0.00$$

Fórmula para determinar el ángulo crítico

$$\frac{k_2 * \sin(\beta - 2\alpha - \varepsilon)}{\sin^2(\beta - \alpha)} + \tan \varphi - k_1 * \tan \varphi * \sec^2 \alpha * \cos(2\alpha + \varepsilon) = 0$$

$$\text{Iterado} \quad \alpha = 57.73 \text{ (}^\circ\text{)} = 57^\circ 43' 48''$$

Obtenemos el factor de seguridad utilizando la fórmula

$$FS = \frac{\frac{k_2}{\sin(\beta - \alpha)} + (\cos(\alpha + \varepsilon) - k_1 * \sec \alpha) * \tan \varphi}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

$$FS = 1.10$$

Aplicando la ecuación se obtiene la resultante de las fuerzas actuantes

$$R = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta * \sin \alpha} * \Psi * k$$

$$R = 1510.79 \text{ (KN/m)}$$

(FS)₀, coeficiente de seguridad activo el cual se incrementa debido al reparto de tensiones que se generan a través del tirante anclado dentro del macizo rocoso.

$$(FS)_0 = 1.5 \quad \text{Ver tabla 2.19}$$

Dimensionamiento de los pernos de anclaje para cada talud

Determinación de la fuerza de anclaje

Utilizando la ecuación y despejando Δ se obtiene su valor óptimo

$$\tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o} \qquad \tan(\alpha - \Delta) = \frac{\tan\varphi}{(FS)_o}$$

$$\Delta = \Delta_0 = 57.32 (^{\circ}) = 57^{\circ}19'12''$$

Para evitar el obstáculo de colocar el anclaje buzando hacia abajo se adoptara el siguiente valor

$$\Delta = \Delta_0 = -5(^{\circ})$$

De la siguiente ecuación se obtiene

$$\delta(FS) = ((FS)_o - FS)$$

$$\delta(FS) = 0.40$$

Empleando la ecuación se determina

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = (FS)_o \cos(\alpha - \Delta) + \text{sen}(\alpha - \Delta) * \tan\varphi$$

$$f(\Delta) = f(\Delta_o) = 1.27$$

Utilizando la ecuación la relación es la siguiente

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)}$$

$$\frac{F_a}{R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)} = 0.31$$

Es decir se requiere una mínima fuerza del tirante para alcanzar $(FS)_0=1.5$ de las fuerzas tangenciales

$$F_a = \frac{\delta(FS)}{f(\Delta)} * R * \text{sen}(\alpha + \varepsilon)$$

$$F_a = 399.08 \text{ (KN/m)}$$

Cálculo de la separación entre anclajes de barras

En la tabla 2.21 se muestra varios anclajes y sus características dentro las cuales se eligió el siguiente:

Barra $\varnothing$ 26 DY S 85/105 85/105 kgf/mm²

Determinación de la carga de rotura, límite elástico y tracción admisible del anclaje a utilizarse.

a) Determinación del área de anclaje

$$A = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A = 531.00 \text{ (mm}^2\text{)}$$

b) Determinación de la carga de rotura (Fro)

$$Fro = (\text{Área de la barra} * \text{Resistencia unitaria})$$

$$\text{Resistencia unitaria} = (85/105 \text{ Kgf/mm}^2)$$

$$85 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$105 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} * 10 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} = 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$Fro = 531.00 \text{ mm}^2 * 1050 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 557.55 \text{ (KN)}$$

c) Determinación del límite elástico

$$T_g = (\text{Área de la barra} * \text{Esfuerzo de tracción al 0.1 \% de deformación})$$

$$T_g = 531.00 \text{ mm}^2 * 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 451.35 \text{ (KN)}$$

d) Determinación de la tracción admisible

$$T_a = 0.60 * T_g$$

$$T_a = 270.81 \text{ (KN)}$$

$$T_a = 271 \text{ (KN) Para fines prácticos}$$

Cálculo de la separación de anclajes utilizando la siguiente ecuación

$$S = \sqrt{\left(\frac{H}{\text{sen}\beta} * \frac{T_a}{F_a}\right)} \quad S=3.20 \text{ (m) asumimos } 3.00 \text{ (m)}$$

Con el resultado anterior se aprecia que los anclajes deben ser colocados sobre una cuadrícula de 3.00 (m) por 3.00 (m), con una carga admisible de trabajo = 271 (KN) el número de filas de anclaje se determina con la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = \frac{H}{S} - 1$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = \frac{L}{S} - 1$$

Donde:

$$H = 15.00 \text{ (m)}$$

$$S = 3.00 \text{ (m)}$$

$$L = 115.00 \text{ (m)}$$

$$N^{\circ} \text{ filas de anclaje} = 4.00 = 4 \text{ filas}$$

$$N^{\circ} \text{ columnas de anclaje} = 37.33 = 38 \text{ Columnas}$$

Se requiere 4 filas y 38 columnas de anclaje para estabilizar el sector

Determinación de la longitud de anclaje de la barra

a) Longitud de anclaje, primera hilera

$$\sigma_c = \text{Resistencia a la compresión de la roca} = 17.09 \text{ (Mpa)}$$

$$f'_c = \text{Resistencia a la compresión de la lechada de cemento} = 1 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = \frac{1}{10} \sigma_c \quad \tau_w = 1.71 \text{ (Mpa)}$$

$$\tau_w = f'_c \quad \tau_w = 1 \text{ (Mpa)}$$

Se adopta el menor 1 (Mpa)

$\Gamma_q = 1.40 \text{ a } 2.00 = \text{Factor de mayoración de la carga aplicada (varía dependiendo del tipo)}$

de riesgo y si es temporal) = 1.6

F_a = Fuerza de tracción (tracción admisible) = 271 (KN)

ϕ_p = Diámetro de perforación (barreno) = 0.065 (m)

τ_w = Resistencia a compresión = 1 (Mpa)

Γ_v = Factor de minoración para anclajes permanentes = 1.4

Dada la ecuación se obtiene

$$L_s = \left[\frac{\Gamma_q * F}{\pi * \phi_p * \tau_w / \Gamma_v} \right] \quad L_s = 2.97 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Utilizando la primera hilera de anclaje se observa que la separación de OP-S = 3.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo la ordenada analizada de:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 3.19 \text{ (m) asumimos 3.00 (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 (^{\circ})$$

$$\alpha = 57.73 (^{\circ}) = 57^{\circ}43'48''$$

$$\Delta = -5 (^{\circ})$$

$$H = 15.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 3.90 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_s)$$

$$L = 6.87 \text{ (m)} \quad \text{Primera hilera}$$

b) Longitud de anclaje, segunda hilera

Para determinar la longitud del anclaje para la primera hilera se empleó S (separación entre anclajes) por ello para la segunda hilera se empleara 2S y si según el número de fila.

$$S = 3.00 \text{ (m)}$$

$$2S = 6.00 \text{ (m)}$$

Para la segunda hilera, se debe tomar en cuenta que la separación OP=2S= 6.00 (m) con respecto al pie del talud, siendo igual a:

$$h = S * \text{sen}\beta \quad h = 6.37 \text{ (m) asumimos } 6.00 \text{ (m)}$$

Considerando los siguientes valores calculados anteriormente

$$\beta = 85.00 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\alpha = 57.73 \text{ (}^\circ\text{)} = 57^{\circ}43'48''$$

$$L_s = 3 \text{ (m)}$$

$$\Delta = -5 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$H = 15.00 \text{ (m)}$$

Separando L_L de la ecuación se obtiene

$$L_L = \left(\frac{h}{\text{sen}\beta} * \frac{\text{sen}(\beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha - \Delta)} + 0.15 H \right)$$

$$L_L = 5.55 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, la longitud de anclaje se calcula con la siguiente ecuación

$$L = (L_L + L_S)$$

$$L = 8.52 \text{ (m)} \quad \text{Segunda hilera}$$

Para simplificar el cálculo de las demás hileras se empleara una tabla y se redondea enteros por constructividad.